

HISTORIA,

DESCRIPCION Y CRÍTICA

DE LOS SISTEMAS EMPLEADOS EN EL ALUMBRADO DE LAS EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS.

NUEVO MÉTODO

DE

ILUMINACION EN LAS MINAS,

POR

A. GIL Y MAESTRE Y D. DE CORTÁZAR,

Ingenieros Jefes del Cuerpo de Minas.

MEMORIA PREMIADA

POR LA ESCUELA ESPECIAL DE INGENIEROS DE MINAS, EN EL CONCURSO PÚBLICO DE 1879,
Y PUBLICADA POR LA MISMA Á CUENTA DEL

LEGADO GOMEZ PARDO



MADRID:
IMPRENTA Y ESTEREOTIPIA DE ARIBAU Y C.ª,
IMPRESORES DE CÁMARA DE S. M.
Duque de Osuna, 3.

1880.

TEMA.

«JUICIO CRÍTICO DE LOS SISTEMAS QUE ACTUALMENTE SE EMPLEAN PARA EL ALUMBRADO DE LAS EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS, EN GENERAL, Y EN PARTICULAR EN LAS MINAS DE HULLA, EXPUESTAS Á EMANACIONES DE GAS INFLAMABLE; MEDIO Ó MEDIOS DE SUSTITUIRLOS CON VENTAJA EN LAS MINAS DE ESPAÑA.»

Á LA MEMORIA

DEL

SR. D. JOSÉ GOMEZ PARDO.

Los Autores.

Madrid, 1.º de Octubre de 1879



PRÓLOGO.

Pocos, si hay alguno, son los inventos de que con razon se enorgullece el espíritu humano, que, ántes de llegar al dominio de todos, difundiendo por igual sus beneficios, no hayan pasado por una larga elaboracion científica; y áun despues de cambiar el terreno especulativo por el de aplicacion, han debido trascurrir largos años y sido precisas muchas mejoras, para que sus ventajas no caigan bajo el peso de consideraciones que, si bien de órden especial, no pueden perderse de vista en la práctica.

Una de éstas, y realmente de primera importancia, es la de coste ó precio; pero hay otra de que no debe prescindirse tampoco, la cual en ciertas industrias, y más que en ninguna en la minera, puede ser suficiente para dejar á un lado las restantes; nos referimos á la conservacion de la vida y salud de los operarios.

Para desarrollar, pues, el tema, objeto de nuestra obra, hay que estudiarle bajo tres aspectos: eficacia, economía y seguridad, pero más especialmente con respecto al último.

Han trabajado para mejorar el alumbrado minero, entre otros autores ménos conocidos, Stephenson, Davy, Combes, Mueseler, Clanny, etc., mereciendo el aplauso y gratitud universales, áun cuando, como verémos al hacer el juicio crítico de sus invenciones, los resultados obtenidos no hayan sido totalmente satisfactorios.

Por esta causa, de vez en cuando, la atencion de notables

observadores se fijaba, buscando solucion al problema, en el alumbrado eléctrico, sistema al que M. Boussingault ha prestado siempre el apoyo de su autorizada opinion, considerándole susceptible de evitar todos los inconvenientes de los ya aplicados.

Se tropezaba, empero, con la dificultad de producir la electricidad en la cantidad, con la economía, facilidad de trasporte y subdivision que se exige en los trabajos mineros, y no es extraño por esto que la mayoría de los autores que han escrito acerca del laboreo de minas se mostrase enemiga del alumbrado eléctrico aplicado á los subterráneos.

No hemos de analizar en detalle semejantes opiniones; mas como una confirmacion de lo dicho, y para no salir de los límites que exige nuestro trabajo, nos bastará considerar lo que respecto á este asunto consigna M. Callon en su obra de *Explotacion de minas*, publicada en 1874, en la cual puede decirse se citan y amplian cuantos cargos se han hecho al sistema de iluminacion de que tratamos.

Dice el autor que la luz eléctrica, al aplicarse en las minas, presenta el inconveniente de un precio relativamente elevado, y el de dar haces luminosos de una intensidad tal, que alumbrando con exceso los objetos expuestos directamente á su accion, por un contraste fácil de concebir, dejan el resto en una profunda oscuridad. Objeta tambien Callon, que no pudiendo colocarse las luces eléctricas en las minas sino en puntos determinados de antemano (pues el empleo de lámparas portátiles lo estima muy costoso y sin objeto), son muy poco á propósito para alumbrar excavaciones dispersas, irregulares y variables de forma y extension de un dia á otro.

Añade, que cuando una mina se alumbra con luces fijas, debe estar iluminada por completo, originándose un gasto enorme de luz, cuando hoy se sigue como regla no alumbrar un punto dado más que el tiempo y en la medida indispensables para el trabajo; y si es verdad que se deben emplear aparatos fijos en aquellos sitios siempre ocupados y que necesiten buena luz, cual sucede en las

cortaduras de los pozos de extraccion y áun en los grandes tajos de arranque, estos sitios se iluminan perfectamente por las lámparas ordinarias de los mineros, que cada uno coloca á voluntad y segun las necesidades de la obra.

De las anteriores consideraciones deduce el autor que el alumbrado permanente, por regla general, debe proscribirse en las minas, pues obrar de otra suerte sería como alumbrar todas las habitaciones de una gran casa áun cuando no se ocupáran sino algunas de ellas; sistema tal vez cómodo, mas no necesario, y tan caro, que sólo como cuestion de lujo puede admitirse.

Es preciso, continúa diciendo, que el alumbrado en las minas sea individual; y cuando se emite un parecer contrario, fundándose en la iluminacion de las ciudades y en los progresos que hacen las ciencias, y se llega á considerar el interior de los subterráneos inundado de luz como las calles de una gran capital, se tiene una falsa idea de las necesidades que se han de satisfacer en una mina.

Condensando ahora nosotros las objeciones, vemos se reducen á las siguientes: gran coste de produccion de la luz, falta de difusion en ésta, inmovilidad del foco luminoso, y gastos innecesarios si se alumbran bien y permanentemente los subterráneos.

Es indudable que hasta el año próximo pasado estas objeciones eran de gran fuerza, y el alumbrado eléctrico para las minas no pasaba de una aspiracion; pero en dicho año sucediéronse con inusitada rapidez interesantes descubrimientos, utilizados para la produccion y division de la luz, que unidos á los poco anteriores de poderosas y económicas máquinas magneto-eléctricas, dan los medios de llevar aquella aspiracion á la práctica, obteniendo y suministrando á los mineros un excelente sistema de alumbrado.

No hace un año todavía que el ingeniero profesor de explotacion de minas, de la Escuela de París, M. Haton de la Goupillière, en un informe dirigido á la «Comision de estudio de los medios de prevenir las explosiones de gas dentro de los subterráneos», manifestaba que los perfeccionamientos conseguidos en el alumbrado eléctrico atenuaban el valor de las objeciones que contra él se

habian presentado para iluminar las excavaciones, y esto se decia cuando todavía eran desconocidos los descubrimientos de Werdermann, Sawyer, Edison, etc.

Más recientemente aún, la publicacion científica que más circulacion consigue en el mundo (*The Iron Age*) ha consignado que la solucion del problema de que se trata se conseguirá con la luz eléctrica de candencia.

De lo dicho puede deducirse que una idea calificada de utópica hace poco tiempo, es hoy de fácil realizacion, y esto se comprende bien, pues contra las objeciones que se hacian ántes, basta presentar en la actualidad las afirmaciones siguientes: la luz eléctrica es, á igualdad de intensidad, la más barata de cuantas se conocen; su difusion se consigue sin más que emplear pantallas deslustradas, los focos luminosos pueden cambiarse de lugar con facilidad suma, y si el alumbrar bien y completamente las minas no es defecto sino cuando cuesta caro, la economía del nuevo alumbrado permite una iluminacion perfecta. Ademas, lámparas eléctricas portátiles de tan poco coste como escaso volúmen se pueden fabricar cuando se quiera, y lo que es de valía mayor que el ahorro de unos cuantos céntimos, la cuestion humanitaria se resuelve completa é indefectiblemente.

La exactitud de semejante aserto ha de encontrarla quien leyere nuestra obra, en la que, despues de algunas consideraciones generales, se estudian y analizan todos los sistemas de alumbrado minero conocidos de antiguo, y se proponen los medios de reemplazarlos, completamente unas veces, en parte otras, con la luz eléctrica.

Para nuestro trabajo hemos consultado principalmente las obras siguientes:

Pepper. — *The Book of metals.*

Osborn. — *American mines and mining.*

Burat. — *Gisement et exploitation des minéraux utiles.*

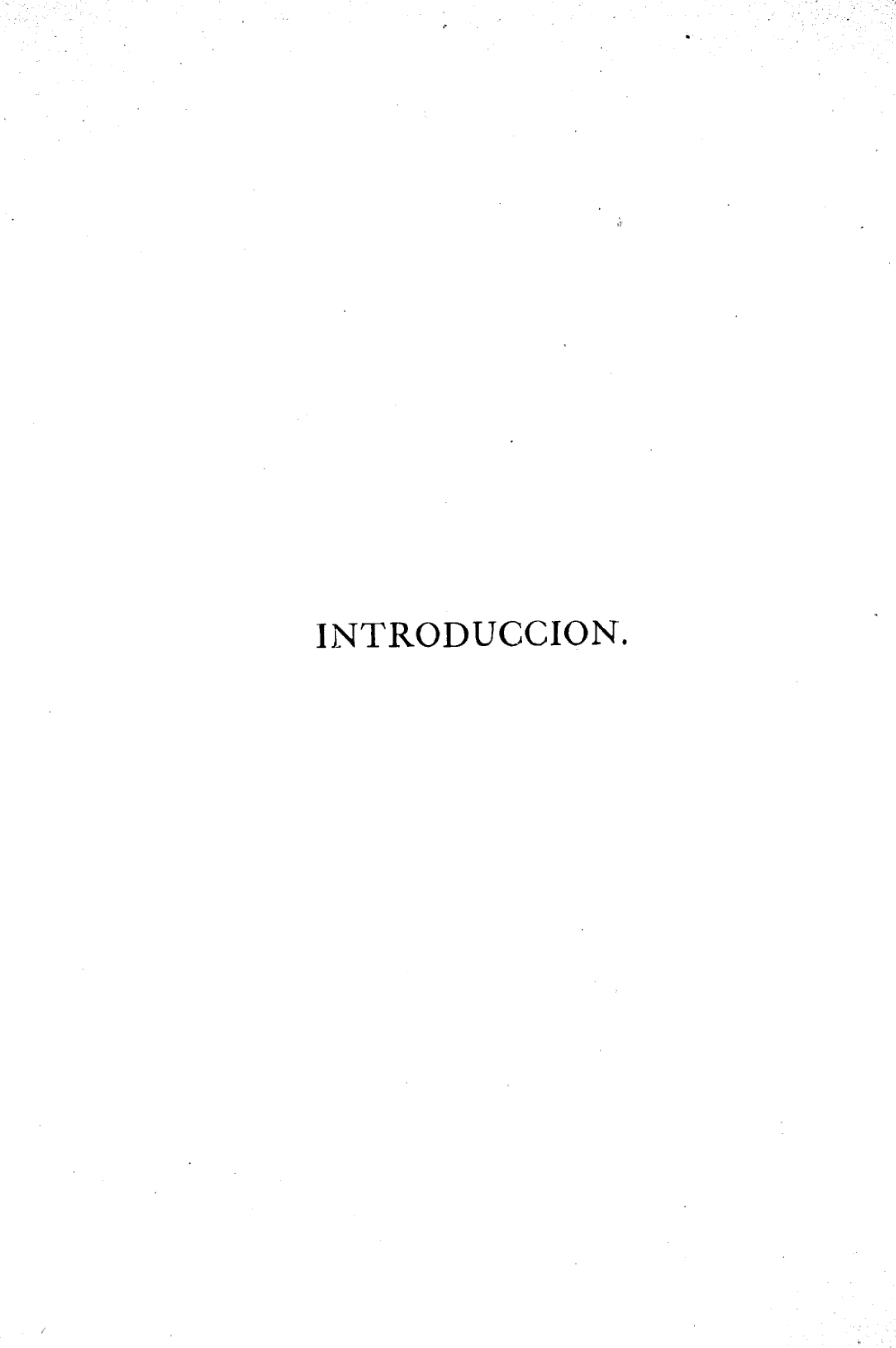
Combes. — *Exploitation des mines.*

Callon. — *Cours d'exploitation des mines.*

EZQUERRA.—*Laboreo de minas.*
WEINHOLD.—*Experimental Physic.*
JAMIN.—*Traité de Physique.*
TYNDALL.—*The Light.—The Heat.*
PÉCLET.—*Traité de la Chaleur.*
BECQUEREL (M. M.).—*Traité d'Électricité et de Magnetisme.*
GUTHRIE.—*Magnetism and Electricity.*
DE LA RIVE.—*Traité d'Électricité.*
WIEDEMANN.—*Die Lehre von Galvanismus und Elektro-magnetismus.*
DU MONCEL.—*Exposé des applications de l'électricité.*
NIAUDET.—*La Pile électrique.*
LEROUX.—*Les machines magneto-électriques.*
FONTAINE.—*Eclairage à l'électricité.*
Revistas.—Periódicos científicos.—Privilegios de invencion, etc.

El mérito que pueda tener nuestro libro, de derecho corresponde á los autores que acabamos de citar y á las personas inteligentes que cuando las hemos consultado han resuelto nuestras dudas, animándonos á terminar un trabajo más complejo y dilatado de lo que en un principio pudimos sospechar, y áun así, no tan completo como hubiéramos deseado, por falta material de tiempo para hacerlo dentro de un plazo ineludible, si bien, en nuestra opinion, la obra resulta más general y extensa que cuanto hasta el dia se ha publicado referente al asunto.

1.º *de Marzo de* 1879.



INTRODUCCION.

INTRODUCCION.

CONSIDERACIONES GENERALES.

Division de los criaderos minerales. — Alumbrado en los mismos. — Atmósfera de los subterráneos. — Respiracion y combustion. — Teoría de la llama. — Causas que impurifican el aire de las minas. — Hidrógeno sulfurado. — Ácido carbónico. — Hidrógeno proto-carbonado. — Condiciones generales del alumbrado minero. — Su division.

Si bien se significa genuinamente con la palabra *criadero* el sitio abundante en minerales, es lo comun limitar la acepcion para expresar sólo el yacimiento de las sustancias inorgánicas con valor industrial miéntras permanece sin explotar.

Sea uno ú otro el sentido de la palabra, al tratar de elegir un buen sistema de laboreo debe tenerse en cuenta el espesor é inclinacion de los criaderos, que á este fin se dividen en los cuatro grupos siguientes:

1.° Criaderos de ménos de 3 metros de espesor ó potencia, cuya inclinacion pasa de 45°.

2.° Criaderos de ménos de 3 metros de espesor, y con inclinacion menor de 45°.

3.° Criaderos de más de 3 metros de espesor, con inclinacion mayor de 45°.

4.° Criaderos de más de 3 metros de espesor, cuya inclinacion no llega á 45°.

En los cuatro casos difieren más ó ménos los sistemas de laboreo, si bien, por punto general, sólo el primero exige llevar frentes de corta extension, miéntras que en los otros tres se ponen al descubierto con frecuencia tajos de grandes caras.

Fácil es comprender que ha de haber diferencias casi de contínuo en las operaciones de preparacion de labores, arranque de minerales, fortificacion, trasporte, desagüe y ventilacion que exige un criadero al minarle; mas el alumbrado no admitirá otra variacion que el de ser eficaz para un espacio muy circunscrito ó para una labor de gran frente.

No hay duda que el alumbrado en las minas tiene que ser artificial, pues sólo cuando se trata de un pozo vertical ó de un socavon en línea recta es aprovechable la luz del dia; mas como quiera que los sistemas de iluminacion están subordinados á las condiciones del medio en que se han de usar, es indispensable fijemos las circunstancias que generalmente se reunen en la atmósfera de los subterráneos.

Si la atmósfera de un espacio cualquiera en que viven organismos vegetales ó animales no se renovase, la relacion de sus elementos pronto variaria, y dejando los componentes del aire de neutralizarse en sus propiedades, el aniquilamiento de la vida sería segura consecuencia.

En general, y prescindiendo de los efectos de los vegetales, el aire, estando confinado, se altera de dos modos bajo la accion orgánica: ó por la sustraccion de su oxígeno, ó por la adicion de vapores extraños, siendo frecuente que una y otra circunstancia se reunan á la par.

La respiracion de los seres es una causa poderosa para

consumir oxígeno, produciendo, como consecuencia y esencialmente, ácido carbónico y vapor de agua, facilitando los cuerpos el carbono y el hidrógeno para estas reacciones en la trasformacion dentro de los órganos pulmonares de la sangre venosa en sangre arterial. Segun M. Schondorff (*), un hombre absorbe 50'5 litros de oxígeno por hora y desprende 38'5 de ácido carbónico, miéntras en igual tiempo un caballo consume 100 litros de oxígeno para producir 90 de ácido carbónico; mas en la práctica hay necesidad de contar con cantidades tres veces mayores, pues se considera que el hombre necesita para la respiracion en veinticuatro horas el oxígeno contenido en 19 metros cúbicos de aire, y un caballo el triplo de este volúmen.

Produce la combustion de las luces en el aire efectos casi idénticos á los de la respiracion, lo que desde luégo se comprende, pues todo el mundo admite que la última no es sino un caso particular de la primera. Una lámpara de dimensiones ordinarias exige próximamente la misma cantidad de aire para lucir que un hombre para respirar, aunque dicha cantidad varía segun la proporcion y naturaleza de la sustancia quemada.

La accion de una luz y los fenómenos que origina se pueden comprender fácilmente sin más que fijarse en la teoría de la llama.

Toda llama se produce por la combustion de una materia, ya sea gaseosa por sí, ya resultado de la trasformacion de un cuerpo sólido ó líquido volatilizado por el calor. El gas del alumbrado es un buen ejemplo del primer caso; una bujía ó una vasija con una sustancia grasa y provista de una

(*) *Recherches sur l'aérage des houillères; Journal de Carnall*, XXIV, p. 73.

mecha lo son de el segundo, y en éstos la llama se debe á que al quemarse la torcida funde el cuerpo graso, que despues asciende en virtud de la capilaridad, y bajo la accion de la temperatura se trasforma en un vapor hidro-carbonado, que arde presto.

El poder luminoso de una llama varía con los productos que se forman en la combustion: si éstos son desde luégo gaseosos, la llama alumbra poco; pero si en dicha combustion se produce un cuerpo sólido, generalmente el carbono, que pueda ponerse candente, la llama es muy luminosa, como se justifica, aparte de las razones químicas, sin más que ver la gran fuerza de luz que da á una llama gaseosa, cual la del hidrógeno, un cuerpo sólido introducido en ella, ya sea una espiral de platino, ya un trozo de cal.

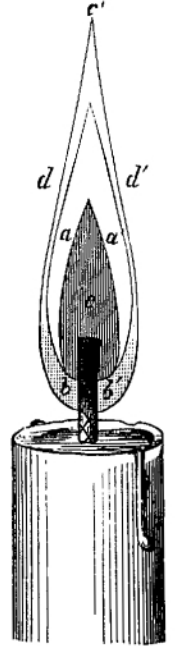


Fig. 1.ª

La temperatura de una llama es independiente de su poder luminoso, y la de un cuerpo simple es homogénea, miéntras que varía en sus partes cuando es producida por una sustancia compuesta.

Tomemos por ejemplo la llama de una bujía.

Esta llama presenta (fig. 1.ª) cuatro partes distintas:

1.ª La base *b b'*, de un azul oscuro, constituida por vapor combustible, cuya temperatura no es suficiente para que arda con facilidad.

2.ª Un cono interior *c*, de color fusco, producido por vapor combustible fuertemente caldeado, pero incapaz de arder por falta de cuerpo comburente.

3.ª Una envolvente cónica *a a'*, muy brillante, que forma el cuerpo principal de la llama, por ser el sitio en que el gas combustible se descompone, combinándose su hidrógeno

con el oxígeno del aire y dejando el carbono libre y dividido en innumerables partículas, que en el seno del cuerpo inflamado se hacen luminosas por candencia.

4.ª Envolvente cónica *d c′ d′*, límite de la llama y poco luminosa, porque la combustion es completa y la temperatura elevadísima, efecto de que se combina con el oxígeno del aire, no sólo el hidrógeno, sino tambien el carbono del gas combustible.

Hay, pues, en la bujía, en la parte inferior, una zona de gases sin temperatura suficiente para las reacciones que despues se han de producir; otra zona interior gaseosa, sin combustion posible en el caso general, zona que se inflama al primer contacto del aire, produciendo la luz por el carbono enrojecido al separarse del hidrógeno que no halla oxígeno con que combinarse; por fin, la envolvente externa, donde las reacciones son completas y la luz pierde su brillo.

Si el oxígeno del aire pudiera llegar con facilidad hasta el centro de la llama, la luz apénas sería visible, pues los productos de la combustion serian todos gaseosos. Esto que dice la teoría se ve confirmado en la práctica, y se observa en las iluminaciones de gas cuando el viento sopla con fuerza, pues introduciendo mecánicamente el oxígeno en el corazon de la llama, se quema instantáneamente el carbono libre, y la luz blanca toma un color azul apénas perceptible.

La parte interna, que los químicos denominan azul, es un cuerpo reductor, pues necesita oxígeno para su reaccion completa; la envolvente externa es por oposicion oxidante, sobre todo en la extremidad del dardo, donde las combinaciones han terminado, las diversas sustancias producidas en la combustion están totalmente oxigenadas y la temperatura es elevadísima.

Con lo expuesto se confirma que las luces toman del aire cierta cantidad de oxígeno necesaria para las reacciones que tienen lugar en el seno de la sustancia quemada.

Dentro de las minas la sustraccion del oxígeno atmosférico es muy marcada, cual secuela de la difícil renovacion de un aire donde se efectúa la respiracion y alumbrado de los obreros, y los efectos son más sensibles, aunque accidentalmente, por ciertas reacciones químicas que suelen efectuarse en los subterráneos, tales como la trasformacion de las piritas ó sulfuros de hierro y de cobre en sulfatos, y de los óxidos metálicos en peróxidos.

Resultados análogos produce tambien la combustion espontánea de ciertas hullas que se inflaman en contacto del aire, ya por abundar los menudos ó estar el carbon largo tiempo en los tajos puesto al descubierto, fenómeno que se explica porque facilitándose la sulfatacion de la pirita, que casi siempre acompaña al combustible, hay un desarrollo de temperatura suficiente para incendiarle, y si la hulla no contiene sulfuros, lo cual es raro que suceda, la combustion espontánea puede, segun algunos, explicarse por el calor desarrollado en cierta especie de contraccion que experimenta el oxígeno del aire al pasar difícilmente entre los poros del carbon.

La atmósfera se vicia en las minas, segun dejamos dicho, tanto por la pérdida de oxígeno, como por la adicion de vapores extraños producidos en las reacciones químicas ya indicadas, es decir, con vapor de agua y ácido carbónico en una combustion completa, pero casi siempre acompañados de óxido de carbono, amoniaco é hidrógeno sulfurado, agregándose los hidrocarburos en ciertos casos y el nitrógeno que siempre queda libre al consumirse el oxígeno del aire.

Ademas, la oxidacion general inherente á todas las sustancias orgánicas, que se denomina *putrefaccion*, da tambien lugar á cuerpos complejos de olor más ó ménos pronunciado, conocidos con el nombre de *miasmas*.

Añádanse los gases y humos producidos por la explosion de la pólvora ó de la dinamita en su uso cotidiano en los subterráneos y los cuerpos sólidos puestos en suspension por diversas causas, principalmente el polvo del mismo mineral, tóxico por demas en las minas de plomo, arsénico y mercurio, y siempre obstructor de los órganos respiratorios, y habrémos hecho el recuento de todos los cuerpos que generalmente impurifican el aire en los trabajos subterráneos.

Suele acontecer en ciertas minas que, junto con los vapores irrespirables producidos por lo que pudiéramos llamar causas ordinarias, se presentan fortuitamente otros gases, de los que y principalmente deben tenerse en cuenta el hidrógeno sulfurado, el ácido carbónico y el hidrógeno carbonado.

Los dos primeros, cuyas fórmulas químicas son HS y CO_2, y sus densidades respectivas 1191 y 1529, considerando la del aire como 1000, son frecuentes en las comarcas volcánicas, y no deben olvidarse al practicar excavaciones en semejantes territorios, ya sea buscando aguas minerales, ya criaderos metalíferos, pues los gases vienen á perjudicar notablemente la ventilacion de las labores, y ejemplos de ello tenemos en España en algunas minas del campo de Calatrava.

El hidrógeno sulfurado se caracteriza por su olor á huevos podridos, siendo un cuerpo sumamente deletéreo, pues, segun los experimentos de Thenard y Dupuytren, un

pájaro muere inmediatamente en una atmósfera que contenga $\frac{1}{1500}$ de su volúmen de hidrógeno sulfurado, $\frac{1}{500}$ hace perecer á un hombre y $\frac{1}{200}$ á un caballo. Arde el hidrógeno sulfurado en el aire y al contacto de un cuerpo inflamado, produciendo agua y ácido sulfuroso, y el cloro le descompone fácilmente, propiedad que puede servir para combatir las asfixias que haya producido, teniendo cuidado en la manera como se emplee el cloro, pues es tambien deletéreo. El medio que se aconseja es humedecer el cloruro de cal con vinagre, ya que así se consigue un desprendimiento de cloro débil y gradual. El hidrógeno sulfurado se produce frecuentemente en las minas por la descomposicion de las sustancias orgánicas.

El ácido carbónico es impropio para la respiracion y para la combustion, en términos que las personas no pueden permanecer sin peligro en una atmósfera que contenga 8 por 100 de aquel gas, y las luces se apagan en cuanto la proporcion llega al 10 por 100. Obra en la economía animal como un veneno y con gran rapidez, produciendo asfixias de difícil curacion. En estos casos, y para evitar mayores desgracias, ántes de penetrar en el sitio donde haya un asfixiado debe inyectarse agua amoniacal que pueda apoderarse del ácido carbónico existente, librando de su accion á los que vayan á prestar auxilio.

No se descompone el ácido carbónico por la accion del calor ni de la luz, y se produce ordinariamente en las minas, como ya hemos indicado, por la respiracion, el alumbrado y la fermentacion pútrida ú oxidacion de las sustancias orgánicas.

El hidrógeno proto-carbonado, ó gas de pantanos, que

cuando se presenta en las minas más ó ménos puro los franceses llaman *grisou*, los ingleses *fire damp*, los alemanes *grubenfeuer*, y en español pudiera denominarse *mofeta*, segun la última edicion del Diccionario de la Lengua castellana (*), tiene por fórmula química $C_2 H_4$, ó lo que es lo mismo, contando en equivalentes, doce partes de carbono y cuatro de hidrógeno, y su peso específico es 557'6, siendo el del aire 1000. Es un gas que á veces se ha encontrado en las salinas y áun en los criaderos metalíferos; pero que esencialmente se presenta en las minas de hulla acompañando al combustible desde la época de su formacion. Parece ser el producto de ciertas alteraciones áun mal definidas que experimentan en presencia del agua las plantas acrógenas, que casi por completo han originado los combustibles fósiles.

Ordinariamente el hidrógeno proto-carbonado se desprende de las aguas estancadas en que hay sustancias vegetales en descomposicion, pero va acompañado por el nitrógeno, oxígeno y ácido carbónico; es incoloro y se le supone un poder refringente diverso al del aire, fundándose en la especie de telarañas que forma en las minas: ordinariamente inodoro é insípido, puede producir la asfixia; pero en condiciones no tan perjudiciales como el ácido carbónico, pues miéntras el que cae bajo la accion de éste encuentra el gas más concentrado en la parte inferior, como más denso que el aire, sucede lo contrario, dada la densidad del hidrógeno proto-carbonado, si es éste el que ha producido el desvanecimiento.

(*) En italiano, de donde se ha tomado esta palabra, sólo se expresan genuinamente con la voz *moffeta* las emanaciones de ácido carbónico que se presentan en los distritos volcánicos, llamando á las de hidrógeno sulfurado *putizza*, y *fuochi* á las de hidrógeno carbonado.

Arde con gran explosion el gas de pantanos si está mezclado con el aire y se aproxima una llama, y si la mezcla es de cloro, puede detonar áun á la luz difusa. Estas propiedades son las que hacen muy peligrosa su presencia en los subterráneos.

En vista de los inconvenientes que para las minas tiene la existencia del hidrógeno proto-carbonado, expuesto á arder y áun á detonar al contacto de las luces, se ha tratado de buscar remedio con un alumbrado incapaz de comunicar temperatura suficiente á dicho gas para su inflamacion, y al propio tiempo, partiendo del principio de que la ventilacion es tan necesaria en los subterráneos como los riegos en la agricultura, ver de superar las dificultades que se originan con la presencia, no sólo del gas de pantanos, sino tambien de otros gases, tales como el ácido carbónico y el hidrógeno sulfurado cuando se encuentran en los minados, haciendo circular dentro de ellos grandes masas de aire.

No entrarémos en los detalles de cómo esto último se consigue, ni mencionarémos siquiera los aparatos que con ese objeto se emplean; pero sí harémos constar que hasta ahora no se ha señalado un sistema eficaz de alumbrado en las excavaciones subterráneas sin que la atmósfera se renueve con frecuencia: es más, áun con el procedimiento que nosotros aconsejarémos para iluminacion de las minas en que hay exhalaciones perniciosas, la ventilacion bien distribuida, si bien innecesaria para el alumbrado, será indispensable para que los obreros trabajen en buenas condiciones.

Resumiendo: los cuerpos que ordinariamente, pero no siempre reunidos, se encuentran en la atmósfera de las minas, son:

Aire algo diferente del exterior, por contener más nitró-

geno, ménos oxígeno y una notable proporcion de vapor de agua.

Acido carbónico y óxido de carbono, hidrógeno sulfurado y amoniaco.

Hidrógeno proto-carbonado, á veces mezclado con hidrógeno bi-carbonado.

Gases de la combustion de la pólvora ó dinamita.

Polvo tenue de los minerales.

Miasmas.

Ahora bien, en los subterráneos en que no existan hidrógenos carbonados ó sulfurados se podrán emplear aparatos ordinarios de iluminacion, miéntras que donde se encuentren semejantes gases en la atmósfera, sólo será dable hacer uso de lámparas incapaces de comunicarles fuego.

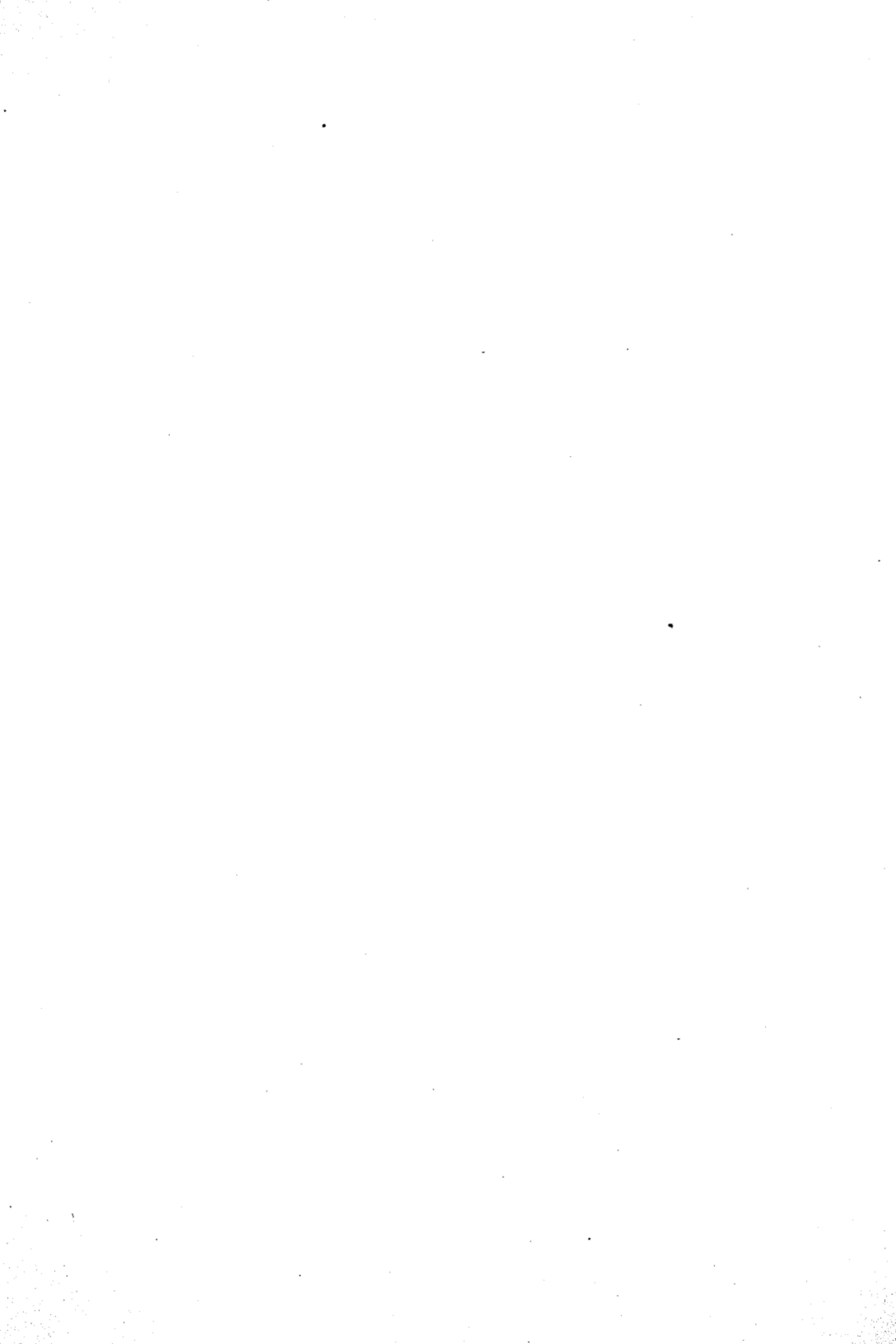
Establecidas estas condiciones generales, derívanse de ellas tres clases de alumbrado que se pueden y deben emplear en las minas, y son :

Luces ordinarias.

Luces cubiertas, ó lámparas de seguridad.

Luces ó alumbrado eléctrico.

A esta division se sujetará la de nuestro trabajo.





PRIMERA PARTE.

CAPÍTULO PRIMERO.

ALUMBRADO ORDINARIO.

Alumbrado individual y general. — Luces portátiles. — Luces fijas. — Diversos aparatos para el alumbrado estante.—Lucernas romanas.—Teas.—Candiles para grasa y aceite : Italianos y Rusos.— Alemanes.—Españoles.— Franceses.— Ingleses. — Candiles para petróleo. — Lámpara del geómetra. — Linternas.— Wind lamp.—Velas y Cirios.

Reducida hasta ahora la iluminacion minera á aparatos de escaso poder, se suplia la falta de intensidad de cada uno de aquéllos multiplicando el número y distribuyéndolos convenientemente con las variaciones que exigia la naturaleza de la atmósfera en que habian de lucir, y tambien segun que la luz debiera ser general y estar fija, ó se hubiera de llevar individualmente de un punto á otro por los obreros.

El alumbrado ha de ser individual al explotar todos los criaderos correspondientes al primer grupo de los cuatro que hemos establecido, y tambien individual en algunos casos, pero general en otros muchos, cuando se trate de beneficiar los demas criaderos.

Desde luégo convendrá que la iluminacion sea constante, pero siempre económica, en aquellos sitios de los subterráneos donde las operaciones mineras son contínuas, cual

sucede en las galerías generales de trasporte, en las cortaduras de los pozos de extraccion, en los sitios donde se hallen las bombas de mano, en las caballerizas y cuartos de herramientas subterráneos, y en algunos otros puntos. Por el contrario, en las labores de disfrute y preparacion, en los coladeros y pozos interiores, y en general en la mayoría de las labores mineras, el alumbrado, para mayor economía, debe ser intermitente y con sólo la duracion del trabajo que facilite.

Los mineros deben llevar consigo, siempre que no haya gases inflamables, medios de conseguir luz cuando por algun accidente se vean privados de ella. Nada más sencillo que el uso de los fósforos; pero en las minas en que las aguas son muy abundantes conviene, como se hace en Alemania y en el Estado de Nevada, en la República Norte-americana, que los obreros vayan provistos de una cartuchera impermeable, en donde se encierre todo lo necesario para aviar la luz de que se sirvan y encenderla siempre que se apague.

Por no tener semejante precaucion han ocurrido en las minas no pocas desgracias, como se comprende bien al considerar la frecuencia con que en los subterráneos se camina por puntos en que un mal paso conduce á una muerte segura, y nada más fácil que esto suceda al transitar sin luz por aquellos sitios.

Cuando, como es lo general, los aparatos para el alumbrado minero son portátiles, deben llenar las condiciones siguientes:

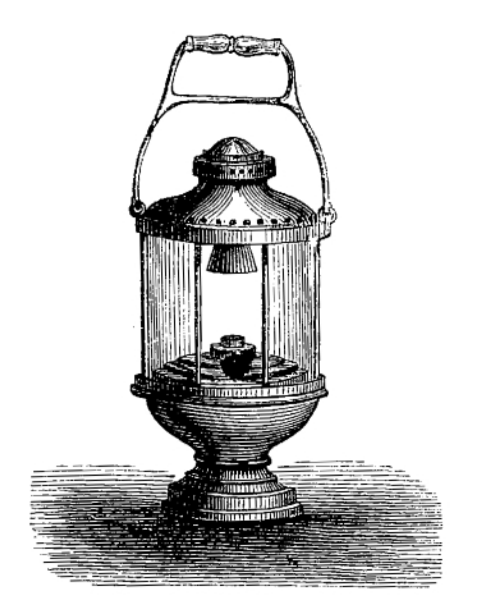
1.ª La luz ha de ser tal que se pueda dirigir con intensidad y fácilmente al punto que se quiera examinar, ya adelante ó hácia arriba, para ver la forma de la excavacion

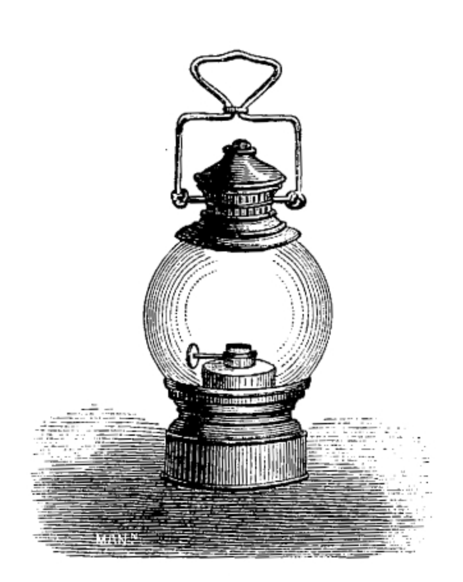
por donde se transita ó en que se trabaja, ya hácia abajo, para ver donde se ha de poner el pié al caminar.

2.ª El aparato debe ser de poco peso y volúmen, para no entorpecer al que lo lleva, sobre todo en el tránsito por las escaleras de los subterráneos.

3.ª Ha de tener buen asiento y áun estar dispuesto para ser colgado con facilidad, pues así, en cualquier caso podrá sin inconveniente dejarse de la mano.

4.ª La luz debe producirse con baratura, pues el gran





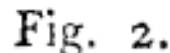


Fig. 2. Fig. 3.

número de las que se usan simultáneamente en una mina representan un gasto de consideracion, y en el que es conveniente hacer cuantas economías sean compatibles con el buen servicio.

Los aparatos fijos requieren las mismas circunstancias que los usados en el exterior, es decir, que han de ser de suficiente fuerza luminosa, económicos, de fácil manejo y conservacion, y tales que no sirvan de obstáculo á las faenas que se ejecuten á su luz.

Es, por tanto, evidente que á la iluminacion fija dentro

de las minas serán aplicables todos los útiles que se usan en el alumbrado ordinario, sobre todo los que están provistos de un reflector. Tambien se pueden emplear los portátiles, de que en seguida vamos á tratar, y entre ellos señalamos desde ahora como lo más adecuado, y conforme es práctica en Alemania é Inglaterra, el uso de las linternas y lámparas contra el viento, siendo dos modelos muy generalizados los que se representan en las figuras 2 y 3.

En los Estados-Unidos es comun el empleo de la lámpara



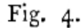


Fig. 4.

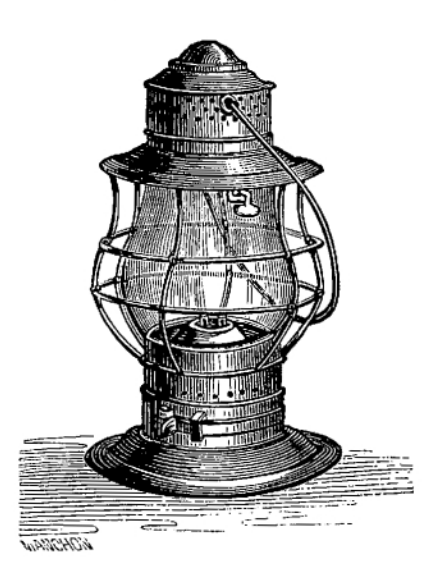


Fig. 5.

con reflector, llamada *Diamante*, fig. 4, cuyo combustible es el petróleo, lo mismo que en la gran linterna, fig. 5, usada cuando, para evitar el efecto de los choques, conviene emplear un aparato de peso y resistencia: su utilidad es manifiesta en las cortaduras de los pozos.

En nuestro país es práctica general colgar en el punto más á propósito un candil de los que haya en la mina, ó cuando más, si se teme el viento, un farolillo de candileja central y caras de vidrio.

Nada, pues, tiene de particular el alumbrado minero fijo

en el caso que consideramos, y tampoco presentaria diferencias dignas de atencion con lo conocido y corriente en las ciudades, empleando el gas, como se ha propuesto várias veces, y áun parece haberse ensayado con buen éxito y economía desde 1844 en la cuenca del Couchant de Mons (Bélgica), así como en las labores subterráneas de las pizarrerías de Angers (Francia), donde más tarde se ha sustituido con la luz eléctrica, y sobre todo en várias minas de Inglaterra (*), para las cuales se fabrica el gas, ya en la superficie, ya en el interior mismo de las labores.

Las lámparas 1.ª y 2.ª se venden en Inglaterra por 4 ó 5 pesetas; la linterna *Diamond* cuesta 5 pesetas en New-York, en la fábrica de Dietz, 54 y 56, Fulton street, y la gran linterna se fabrica en Cincinnati, O., por Dubrul and C.º, 441, Plunn street, al precio de 6 pesetas como mínimum.

En minería los aparatos portátiles de alumbrado han variado naturalmente con el tiempo, ademas de ser distintos segun los países.

En España merecen mencionarse desde luégo las lucernas ó candiles de barro que se encuentran en las minas explotadas por los romanos. Uno de estos candiles, que representamos en la fig. 6, es del distrito de Riotinto, donde suelen hallarse con alguna frecuencia. La longitud total es de 15 centímetros, su mayor anchura 8, y la altura no pasa de cinco : tienen en lo alto un agujerito para que el aire pueda reemplazar el líquido combustible consumido en el sitio por donde salia la torcida.

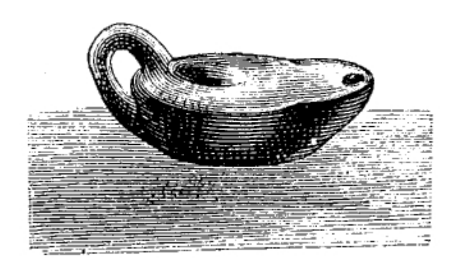


Fig. 6.

(*) *Annales des Mines*, 1858.

La fig. 7 representa otro candil romano hallado en el distrito de Cartagena: es de barro como el anterior, pero con el mechero más marcado, así como tambien la boca



Fig. 7.

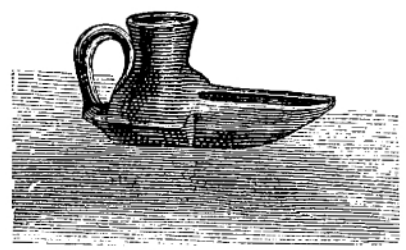


Fig. 8.

para llenarle de aceite; circunstancias que áun se señalan más en el dibujado en la fig. 8, que fué encontrado en las minas de Poblet, provincia de Tarragona.

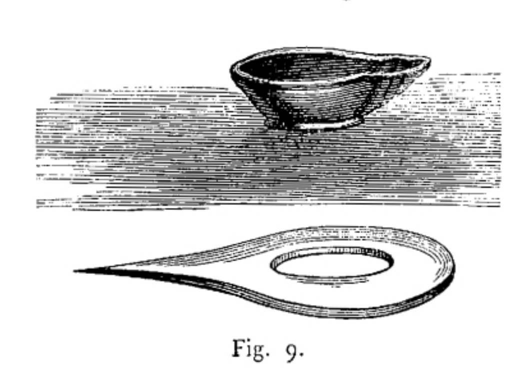


Fig. 9.

Tambien la fig. 9 representa una lucerna romana, hallada en las minas de calamina de la provincia de Santander. Está en la misma escala que las tres anteriores, así como la figura inferior, dibujo de una pieza de madera que por su forma parece haber servido para fijarse en los hastiales de la mina como soporte de la lamparilla.

Tanto por el hallazgo de los soportes de que acabamos de hablar como por la disposicion en que se han encontrado los candiles en las antiguas excavaciones, parece deducirse que los romanos, para alumbrarse en los subterráneos, seguian el método de labrar unos nichos, de trecho en trecho, en las paredes de las galerías, y en ellos colocaban las candilejas que proporcionaban iluminacion á los transeuntes, ó bien las lucernas se hacian descansar en soportes de madera dura que se clavaban en las fortificaciones ó se sujetaban entre las rendijas de las rocas.

Es probable que la iluminacion no fuera permanente y se limitára al tiempo preciso que duraba el paso de los obreros dentro de la mina por los sitios en que estaban colocadas las lucernas, siguiendo, para conseguir tal resultado, un método análogo al empleado modernamente en algunas minas de las Alpujarras, donde, al entrar en los subterráneos una cuadrilla de mineros, sólo el que va delante lleva un candil ardiendo, una alcuza con aceite y provision de torcidas; á su paso va encendiendo todas las candilejas que encuentra y aviando al propio tiempo las que no están en regla; el minero que hace cola en la cuadrilla, ó sea el último que llega á la mina, va apagando las candilejas, que sólo han alumbrado el tiempo trascurrido desde que entró el primer trabajador hasta que pasó el último, facilitando la marcha de los operarios por entre penosas trancadas y revueltas galerías, sin exigir el cuidado individual de un aparato de iluminacion, y conciliando esta ventaja con la mayor economía.

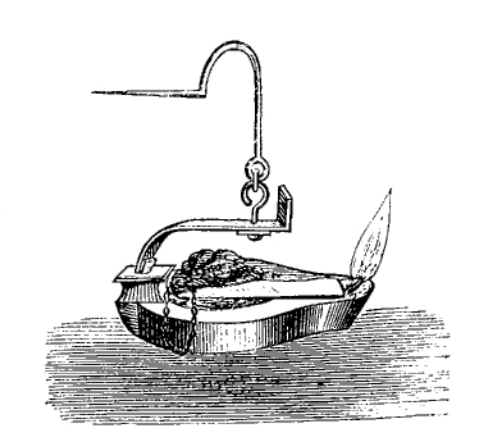


Fig. 10.

Actualmente los aparatos de alumbrado son muy variables para las minas, segun los diversos países.

En Suecia y Noruega se sirven de teas ó astillas de pino resinoso, sistema sumamente económico, pero sólo aplicable, por el humo abundantísimo que produce, en excavaciones espaciosas y bien ventiladas, como las que existen en las minas de hierro de aquellos países.

En Italia y Rusia suelen usar candiles análogos á los que áun se ven en casi todos los pueblos de España, si bien emplean con frecuencia, en vez de aceite, sebo de carnero

y de caballo ó grasa de ballena. En alguno de estos países se encuentran aún en manos de los mineros candiles de hierro, fig. 10, que recuerdan perfectamente las lámparas romanas.

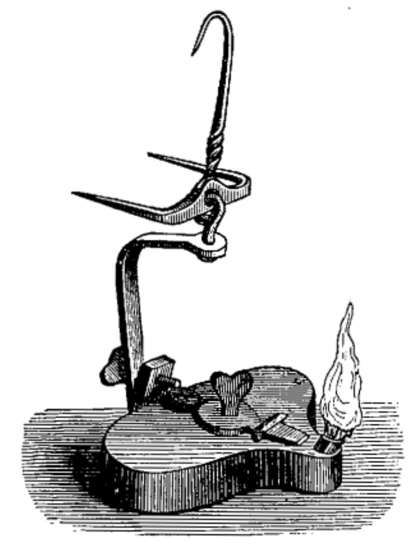


Fig. 11.

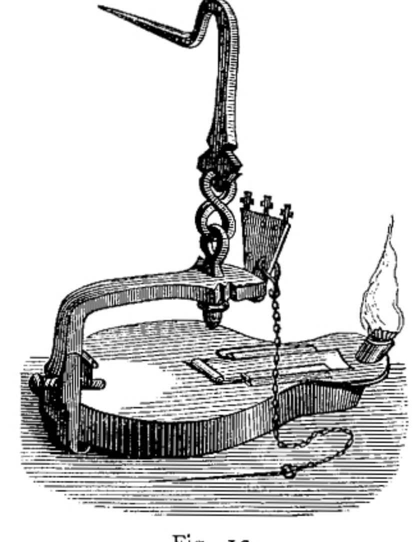


Fig. 12.

Los mineros alemanes emplean tambien candiles para aceite de colza, algodon y olivas, segun las localidades, y la figura 11 da idea del aparato empleado en el Harz, así como la 12 representa un candil de la Prusia Riniana, y la 13 la lamparilla de Mansfeld.

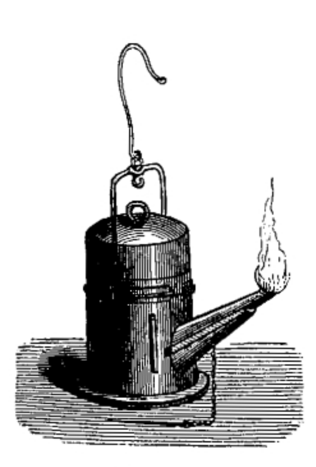


Fig. 13.

Es igualmente general en las minas de España el valerse de candiles, y el mejor y más usado hasta hace pocos años, que ha comenzado á sustituirse con un aparato frances, que despues describirémos, es el candil de Almaden, que representamos en la fig. 14.

El que usan los ingenieros es de laton ó cobre, para evitar toda accion magnética cuando hay que trabajar con la brújula; el de los oficiales ó capataces es de hierro batido, y de

hoja de lata el de los trabajadores; las tres clases, de idéntica figura. La candileja ó depósito del combustible le constituye un cilindro de seccion elíptica, cuyo eje mayor es de 9 centímetros, y el menor, dispuesto en el sentido del mechero, no pasa de 8; el alto del cilindro varía entre 3 y 4 centímetros. Tanto la candileja como casi todo el mechero están cubiertos con una tapa del mismo metal que el resto del candil; pero un trozo de aquélla en contacto con la piquera se puede abrir ó levantar girando al rededor de una charnela, ya para echar aceite, ya para renovar la torcida siempre que es necesario. A fin de impedir que la tapa se alce sin necesidad, va sujeta con una aguja que entra por un anillo fijo, aguja con que tambien se atiza la mecha, y la cual, para que no se extravie, está unida al candil con una cadenilla. De la parte posterior del aparato se alza, encorvándose hácia adelante, una especie de agarradero, de donde sale el garabato, que tiene 8 centímetros de longitud, y cuya forma es á propósito para engancharle en el pulpejo de la mano sin inutilizar á ésta en sus movimientos. La altura total del candil no pasa de 20 centímetros, dimension conveniente para no tropezar en los peldaños de las escalas cuando se baja ó sube en la mina.

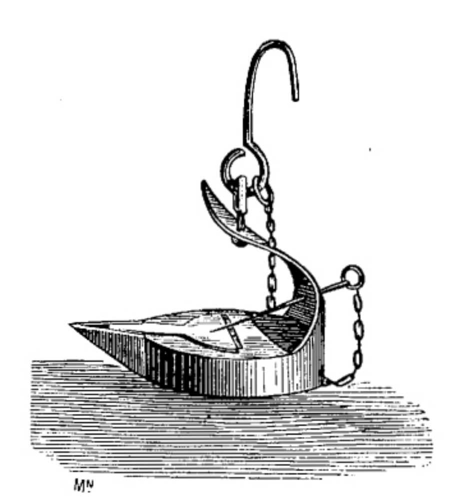


Fig. 14.

Este candil es un aparato bastante bueno de iluminacion subterránea, si bien desparrama demasiado la luz; pero esta circunstancia se torna en ventaja cuando trabajan varios operarios á un tiempo en el mismo sitio, pues basta una luz sola para todos.

Una modificacion muy aceptable del candil de Almaden es la que hemos visto introducida últimamente y que representamos en la fig. 15. Consiste en conservar toda la tapa del candil soldada y de una pieza, y para echar el aceite y cambiar la torcida sirve una boquilla cuya tapa sujeta la aguja, que en el antiguo candil impedia el movimiento de la charnela. Estos candiles se denominan de *bombilla*.



Fig. 15.

En Riotinto y Linàres se han venido usando candiles de la forma que indica la fig. 16, análogos á los de Almaden, pero más sencillos.

Un candil perfeccionado es el aparato que los franceses llaman *rave*, y que desde las minas del Loire se ha extendido por toda Francia y va generalizándose en España, siendo ya de uso constante en las minas de Santander y Palencia, de calamina las primeras y de carbon las segundas, en las de manganeso de Huelva, en algunas de plomo de Murcia y Almería, en casi todas las de Cataluña, y hasta hace poco en las alcantarillas de Madrid.

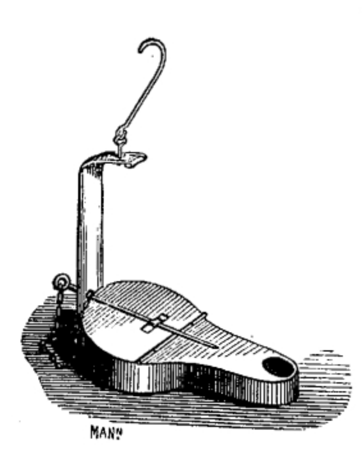


Fig. 16.

El aparato se construye generalmente de hierro batido, es de forma lenticular, fig. 17, y está suspendido á un asa, con giro libre, provista de un garabato que se cuelga en la mano del obrero y se clava en las fortificaciones de madera, ó se mete en cualquiera grieta de la roca á la altura conveniente para alumbrar el trabajo. Un pincho





sujeto al asa con una cadenilla sirve para despabilar la torcida. El aparato en conjunto tiene una altura que no pasa de 18 centímetros, siendo el diámetro de la candileja de unos 10. Estas disposiciones son cómodas, proporcionando un utensilio de fácil manejo y transporte, que puede sufrir un choque cualquiera y caer accidentalmente sin verterse ni deteriorarse. Como por su forma y material tiene el candil del Loire más resistencia que el de hoja de lata de Almaden, de aquí el que en España vaya sustituyendo á este último, conociéndosele con el nombre de *candil de estribo* ó *candil de cebolla*, áun cuando se ha comprobado en algunas minas, donde se usan los de ambos sistemas (*), que el candil frances da ménos luz, por la mayor compresion que sufre su mecha, y, sin embargo, el gasto de aceite es mayor, pues el obrero le atiza con suma frecuencia, con lo que, ademas, se pierde tiempo y trabajo.

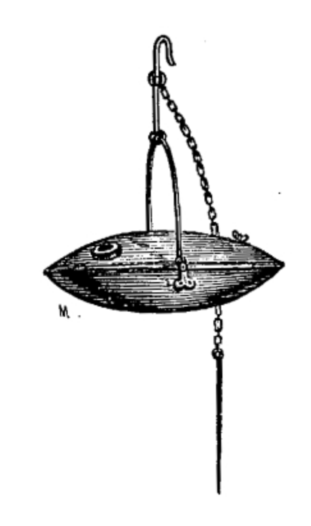


Fig. 17.

Esta misma clase de candiles, sin otra diferencia esencial que ser de mayor tamaño, se suelen emplear como aparatos fijos, y la fig. 18 es copia en escala de $\frac{1}{5}$ de un aparato de esta especie.

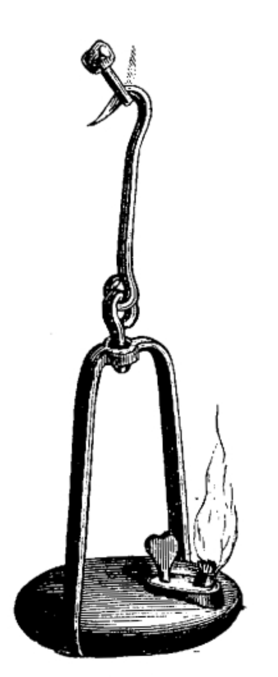


Fig. 18.

En las minas del Norte de Francia usan un candil lenticular cuyo diámetro no pasa de seis centímetros, teniendo en su base soldado un fuerte

(*) En Falset (Cataluña), en el Horcajo (Ciudad-Real) y en El Alosno (Huelva).

pincho que se introduce en un ojal de la correa que rodea el sombrero del minero cuando éste marcha, y se clava en la mina cuando se está trabajando. De este modo las manos quedan completamente libres, y, ademas, la luz alumbra perfectamente los peldaños de las escalas á que se coge la persona que lleva el candil. Este es de laton para los jefes y de hoja de lata para los obreros, teniendo siempre la mecha central. El candil se representa en la fig. 19.



Fig. 19.

En Inglaterra son de un uso bastante general los candiles ó lámparas oscilantes, de forma redondeada, de unos seis centímetros de diámetro y con suspension en una abrazadera que se ensarta con un baston de un metro de largo, donde se apoya el obrero, sirviéndole ademas de tiento en la bajada y subida por los pozos. La mecha es lateral y superior, y de la boca por donde se echa el aceite, y que se cierra á tornillo, cuelga con una cadenilla una aguja para atizar el candil. Este le representamos en las figuras 20, 21 y 22, siendo de laton el primero, destinado á los capataces é ingenieros cuando emplean la brújula, y los otros dos, de hoja de lata, usados por los obreros.

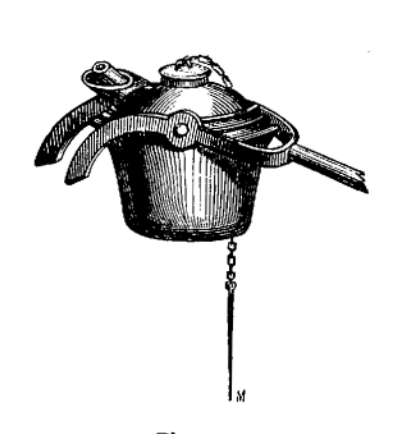


Fig. 20.

En muchas minas de Inglaterra y Alemania, en las de antracita de Pensilvania, Estados-Unidos, y en las de hulla de Astúrias, siempre que no hay gases inflamables, se emplea un candil para petróleo en que el mechero avanza formando pico delante de la candileja, que va provista de

un gancho para colocarla en el sombrero del trabajador: la boca de alimentacion se cierra á tornillo ó girando con una

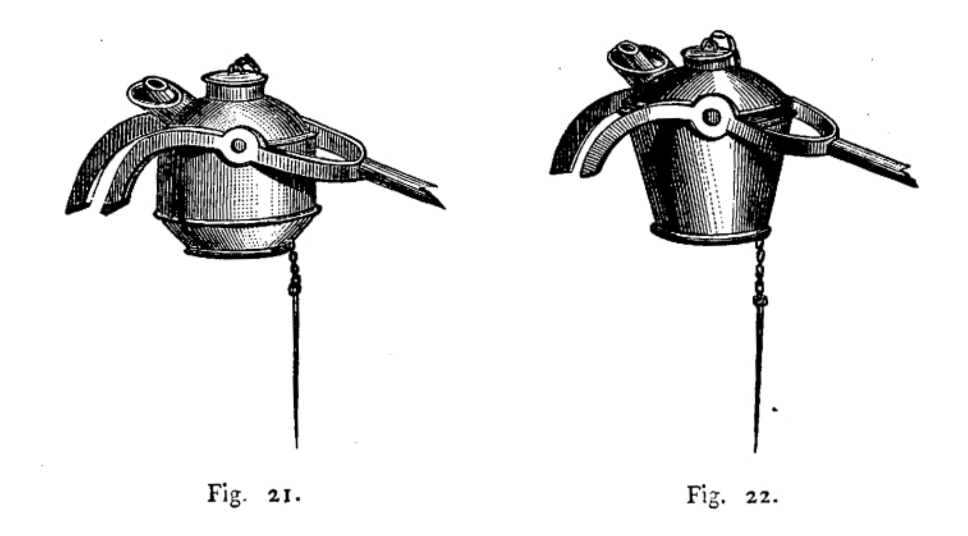


Fig. 21. Fig. 22.

charnela, y el conjunto del aparato se representa en la fig. 23. La luz que dan estos candiles es poco brillante y produce un humo denso, por lo que no son de uso ventajoso sino en las excavaciones muy bien ventiladas; sin embargo, si, como se hace en algunas minas, en vez de gastar petróleo se usa el aceite comun ó el de colza, resulta un candil bastante aceptable.

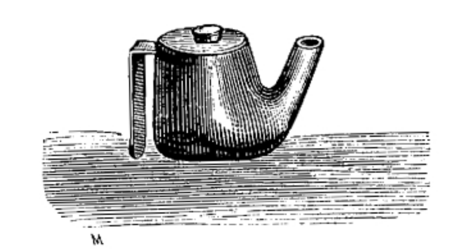


Fig. 23.

Muy recientemente los Sres. Lee Brothers, de Plymouth, Pa., Estados-Unidos, han introducido una modificacion en los candiles del tipo que acabamos de describir. Como en éstos la tapa se cierra con tornillo ó con charnela, en que hay diferentes piezas soldadas unas á otras, sucede con frecuencia que la misma llama del candil funde la soldadura y se inutiliza el aparato.



Fig. 24.

Para salvar este inconveniente, la tapa del candil Lee se corta en una especie de troquel, saliendo en una sola pieza de hoja de lata la tapadera, el cerco y la pieza de charnela (véase la fig. 24), y así se obtiene mayor solidez y se evitan las soldaduras. Tanto este candil como el anterior se hacen de diversos tamaños, pero las dimensiones más generales son seis centímetros de altura por cuatro de diámetro.

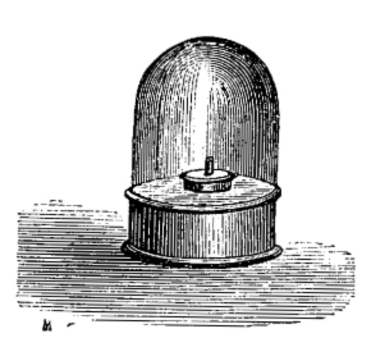


Fig. 25.

En las minas del distrito de Cornwal, en Inglaterra, se usa una lámpara ó candil para aceite de colza, que se puede colocar en el sombrero, llevarse en la mano ó ponerse en los wagones: sustituye perfectamente al que acabamos de citar, pero es de menor altura, tiene la mecha central y va provisto de un reflector, siendo de fácil manejo y de asiento cómodo en cualquier punto que se desee. La fig. 25 da idea de esta lámpara.

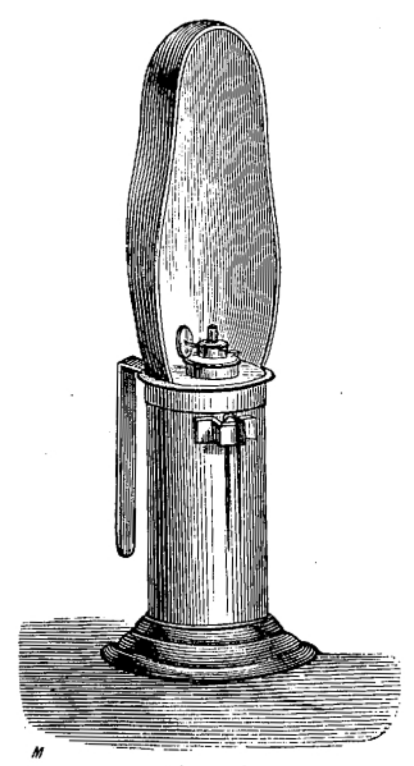


Fig. 26.

Cuando hay necesidad de emplear la brújula durante mucho tiempo, en vez de hacer uso de cualquiera de los candiles que hasta ahora hemos mencionado, es preferible servirse de un aparato más cómodo para el objeto, que se usa en Alemania, y se denomina *lámpara del Geómetra*, fig. 26. El aparato es todo de laton, y se reduce á un cilindro de 4 á 5 centímetros de

diámetro y 10 á 12 de altura, provisto de un gancho, que puede pasarse por un ojal del vestido ó sujetarlo á un cordon colgado al cuello. En el cilindro va una candileja donde se coloca el aceite y la torcida, y para proyectar la luz en las observaciones sirve la pantalla ó reverbero de metal blanco ó de laton estañado que cubre el aparato. La mecha se despabila con unas pinzas, tambien de laton, sujetas por medio de un pasador en una abrazadera de la candileja.

En Sajonia y en algunos otros distritos metalíferos, tales como las famosas minas de plata de Nevada, en los Estados-Unidos, se alumbran los mineros con unas linternas pequeñas de madera forradas interiormente de hoja de lata ó de laton : la altura no pasa de 20 centímetros, y la base es un cuadrado cuyo lado es de 8 centímetros : van provistas, ya de una candileja, ya de una vela de sebo, y tienen, ademas, un gancho al respaldo, que sirve para llevarlas en la mano cuando se recorren los trabajos, y para sostenerlas colgadas al cuello con un cordon cuando se marcha por las escalas. Ademas suelen tener una portezuela de cristal colocada generalmente detras de la candileja; pero que cuando hay corrientes de aire ó goteras que pudieran apagar la luz, se coloca en la parte anterior, haciéndola entrar por una corredera : se verifica el tiro, en este caso, con auxilio de unos agujeros que hay en el fondo de la linterna, saliendo los gases calientes por la ranura posterior, en que de ordinario va la portezuela.

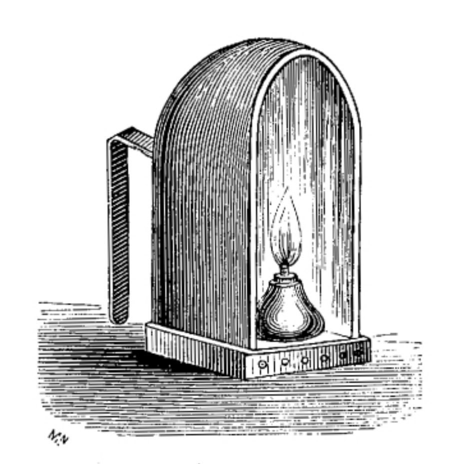
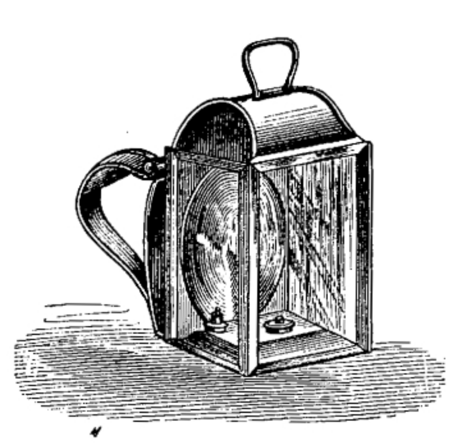


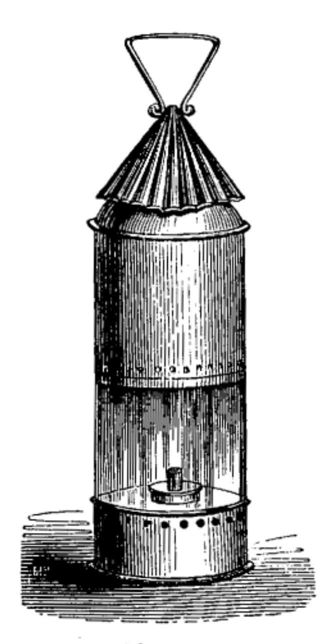
Fig. 27.

La fig. 27 da idea del aparato, que es indudablemente

uno de los más útiles y convenientes cuando hay que observar un punto concreto de la labor, como la disposicion del filon ó de la capa, las grietas de la roca, la naturaleza de las salbandas, etc.; pues proyecta la luz con gran intensidad en el punto que se desea, ademas de cumplir con las condiciones generales de todo utensilio de iluminacion subterránea.


Fig. 28.

En algunas minas de Inglaterra se usan linternas de diferentes tipos, y la fig. 28 representa una de las más útiles, en que el recipiente del aceite sirve de base al aparato, que, provisto de reflector, de gancho para colgarle y de asa para llevarle en la mano, tiene tres frentes de grueso cristal, con lo que se consigue una iluminacion excelente.


Fig. 29.

La fig. 29 representa otra linterna de mano, de uso más frecuente que la anterior: es cilíndrica, con el tercio de la parte anterior de cristal, la posterior sirve de reflector, y toda ella está cerrada. El aire se renueva con auxilio de las dos series de aberturas que la figura indica.

Representa la fig. 30 una linterna de las llamadas *sordas*, usada tambien en algunas minas de Inglaterra, de la misma clase que las que lleva la policía en todo el Reino-Unido; aparato que se emplea hoy en el alcantarillado de Madrid.

Todas estas linternas inglesas se alimentan con aceite mi-

neral, y aunque la mecha es unas veces cilíndrica y otras plana, son preferibles las de esta última clase.

En aquellos sitios de las minas en que la corriente de aire es fuerte suele emplearse la lámpara dibujada en la fig. 31, á que dan los norte-americanos é ingleses el nombre de *wind lamp:* se quema en ella parafina ó petróleo, y puede, sin apagarse, sufrir el viento más fuerte, tanto dentro como fuera de las minas, dando una luz igual á la de diez bujías de esperma.

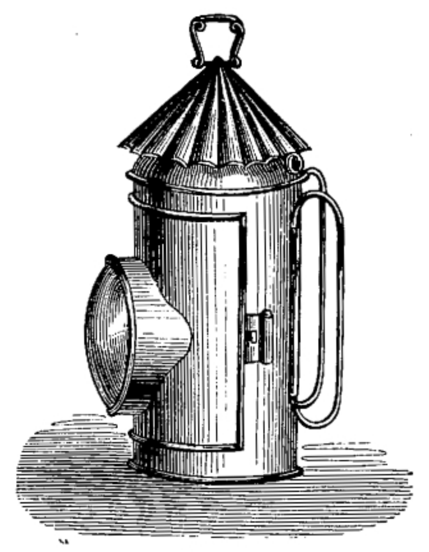


Fig. 30.

El uso de esta lámpara, que puede colocarse entre los aparatos de alumbrado fijo, es frecuente en las cortaduras de los pozos, en la boca de los mismos, en las galerías de ventilacion y en todos los sitios donde se tema al viento.

El alumbrado minero se hace algunas veces con bujías, que se llevan, ya en candeleros ordinarios, ya en clavos apuracabos, fig. 32, ó ya sujetas á un pegote de arcilla, y áun solamente cogidas por un palo rajado en una punta. Este sistema de iluminacion, usado principalmente en la América española, es muy incómodo, porque las velas, que suelen ser de sebo ó de cera vírgen, se corren con gran facilidad si aumenta la ventilacion ó la velocidad de la marcha, y áun sólo con la temperatura de la mina, generalmente algo elevada.



Fig. 31.

En algunas minas de Alemania, como en las salinas de Berchtesgaden, se reserva para los extranjeros que las visitan una especie de cirios de cera provistos de un cabo de madera, y una cazoleta para recoger las goteras. Se ve mejor que con una lámpara de minero ordinaria, pero ensucian más y son de difícil manejo en labores estrechas ó bajas, principalmente cuando se transita por las escalas.



Fig. 32.

CAPÍTULO II.

CONDICIONES ECONÓMICAS.

Alumbrado en casos especiales.—Linternas Rouquayrol é Higgs.—Iluminacion desde el exterior.—Combustibles más usados en los aparatos mineros.—Gastos en el alumbrado subterráneo.—Precio de los candiles, lámparas y linternas.

Estando limpios la mecha y los aceites, los candiles ó lámparas lucen en toda atmósfera en que el hombre pueda respirar, lo que se comprende bien por la íntima relacion que hay entre los dos fenómenos de la respiracion y la combustion. La propiedad de lucir el candil en las atmósferas respirables y apagarse en las que no lo son, proporciona un medio fácil, y que nunca debe omitirse, de conocer si el operario que trata de entrar en un lugar cualquiera, principalmente en las galerías ó pozos subterráneos, puede ó no hacerlo impunemente. El olvidar tan sencilla precaucion ha sido causa de repetidas desgracias, sobre todo en los pozos de aguas infectas, donde se desarrollan con abundancia gases mefíticos.

Cuando la atmósfera de un subterráneo está muy cargada, principalmente de ácido carbónico, la llama de los aparatos de iluminacion se reduce de volúmen, pierde brillo, y

una pequeña agitacion del aire basta para apagarlos. Siempre que el que lleve la luz observe alguno de estos fenómenos debe retirarse con la mayor prontitud, pues si la atmósfera del lugar no es mortal instantáneamente, lo será despues de permanecer dentro de ella algun tiempo.

Á veces hay necesidad en las minas de verificar á cualquier coste algun trabajo en los sitios en que no arden las luces, y en estos casos excepcionales se trabaja á oscuras, cuidando las cuadrillas de renovarse con frecuencia, ó lo que es mejor, estando provistos los trabajadores de lámparas á propósito y aparatos especiales para la respiracion, entre los que son los más usados los de Galibert y Denayrouze (*). Tambien en estos casos, en que no se pretenden economías, el alumbrado suele hacerse desde los sitios en que con facilidad arden las luces empleando grandes lámparas, cuya masa luminosa se envia á las labores con auxilio de reflectores; y si se trata del fondo de un pozo, socavon ó galería que comuniquen con la superficie, puede hacerse el alumbrado, conforme se ha verificado alguna vez, con la misma luz solar convenientemente dirigida por medio de espejos curvos ó planos.

(*) Consta el aparato Galibert de una especie de saco hecho con lona embreada, que se llena de aire en medio minuto mediante un fuelle apropiado, y se afirma en la espalda por medio de un cinturon y unas correas. El aire contenido en él comunica con la boca de quien lo lleva, mediante dos tubos de goma, que salen, uno de la parte superior y otro de la inferior del saco, y van á unirse á una pieza de madera que se sujeta con los dientes y los labios. Miéntras se hace la inspiracion, la abertura de uno de los tubos se tapa con la lengua, y en el momento de la espiracion, aquélla se lleva rápidamente á la otra abertura, operacion alternativa, que continúa los 25 ó 30 minutos durante los que se puede respirar así, aunque cada vez un aire ménos puro. Se completa el aparato con unas pinzas que cierran la nariz, unos grandes anteojos, un pito para hacer señales y una cuerda con un cinturon salva-vidas.

El aparato Denayrouze, llamado *aeróforo* y recompensado en 1875 por la Academia de Ciencias de París, le forma una mochila de palastro, constituida

De todos modos, hay que tener la mayor prudencia á fin de evitar un descuido, que pudiera ser mortal para los obreros.

Podemos citar como aparatos de iluminacion para estas ocasiones, ademas de los eléctricos, que á su tiempo explicarémos, los del frances Rouquayrol y del inglés Samuel Higgs; la luz va dentro de una linterna bien cerrada con gruesos cristales, que tiene en la parte inferior un depósito de acero, donde se comprime aire puro á 20 ó 25 atmósferas, que ha de alimentar la combustion, y sale junto á la mecha por un tubo provisto de un obturador, que se abre más ó ménos con auxilio de una llave de tornillo que se maneja de modo que la corriente de aire debida á la expansion no sea tal, que apague la luz ó se haga insuficiente: los gases producidos en la combustion salen por unas pequeñas aberturas, sitas en la parte superior de las lámparas, cuyo peso no excede de 3 kilógramos, y mantienen durante más de media hora una luz clara y fija. Estos mismos aparatos se han construido con la adicion de telas metálicas, incluyéndose entónces en el número de las lámparas de seguridad, de que hablarémos más adelante.

por tres cilindros acoplados, que suman un volúmen de unos 30 decímetros cúbicos, en que á la presion de 30 atmósferas, conseguida con una bomba especial, se pueden almacenar 1.020 litros de aire, cantidad suficiente para respirar un hombre y arder una lámpara durante una hora. El depósito tiene un regulador, que obra automáticamente para que la salida del aire comprimido se verifique llegando á la boca, por un tubo de goma, con una presion muy débil y en proporcion de la cantidad que se consuma. El tubo conductor se termina en un apéndice, tambien de goma, que se sujeta entre las encías y los labios, y en el mismo tubo hay un juego de dos válvulas, dispuestas de modo que una se abre para dar paso al aire del aparato, quedando cerrada la otra hasta que á su vez se aparta para dejar salir al exterior los productos de la respiracion, en cuyo caso se cierra la primera. Es, por tanto, innecesario todo aprendizaje para usar el aparato, que se completa con una máscara que tapa la nariz y permite la vision á traves de unos anteojos.

El uso del aceite para los candiles es casi general en todo el mundo, siendo su naturaleza indiferente con tal de que esté bastante purificado.

En España, Italia y áun parte de Francia se emplea de preferencia el aceite de olivas; en Bélgica, Alemania, Inglaterra y Estados-Unidos es casi general alimentar los candiles de los mineros con aceite de colza (*), usándose á veces el de nueces, al que se atribuye cierta superioridad en caso de mala ventilacion (**).

En várias de las linternas y candiles usados en Inglaterra y los Estados-Unidos, y de que queda hecha referencia, el combustible es el petróleo, y en muchos puntos de Alemania y Rusia, segun hemos indicado, se alimentan, ya con grasa de ballena, ya con sebo de carnero ó caballo.

El valor del alumbrado minero no deja de ser importante, y es evidente que su coste total grava la explotacion de los criaderos.

En unas partes el combustible lo facilitan los dueños ó contratistas de las minas; en otras, cada minero se procura el que gasta. Cuando es la Empresa la que lo suministra, hay un empleado con destino al servicio del alumbrado,

(*) Este aceite, que se extrae de las semillas de la colza comun (*Brassica campestris oleifera*, De Candolle), planta de la familia de las crucíferas, es de color amarillo, poco soluble en el alcohol frio, muy soluble en el mismo líquido calentado, y de una densidad igual á o'913. La semilla productora dá hasta 39 por 100 de su peso de un aceite que se concreciona á —6° centígrados, y proporciona en la saponificacion dos ácidos grasos; uno, el ácido brasícico C_{45} H_{43} O_5, sólido y cristalizable, y otro, innominado, líquido, y solidificable bajo la influencia del ácido hiponítrico. El aceite de colza sólo sirve para el alumbrado.

(**) El aceite de nueces se extrae del fruto del nogal (*Juglans regia*, Linneo). Cuando está recien obtenido presenta un color verdoso, pero despues de algun tiempo se decolora completamente; es inodoro, de un sabor agradable, de una densidad de o'928, de gran poder secante, y puede solidificarse á —27° centígrados. Su principal empleo es en la preparacion de pinturas finas.

que en España, y principalmente en las minas de Almaden, se llama *almijarero*. Con este sistema la iluminacion subterránea suele ser mejor y más completa; pero en las minas en que se pretenda una rigorosa economía, el alumbrado debe correr por cuenta de los mineros, evitándose así el desperdicio y abandono que existe entre los trabajadores siempre que la luz se paga por los dueños.

Es claro que si el obrero sufraga los gastos del alumbrado, debe aumentarse su jornal en lo que prudencialmente se calcule que valga la luz, á ménos que se trate, como es frecuente en las minas, de disminuir indirectamente el precio del jornal.

El gasto de la iluminacion depende, no sólo de la sustancia que se emplee como combustible, sino tambien de la forma del aparato, del grueso de la mecha y de la ventilacion; en general se consumen de 120 á 200 gramos de sebo ó grasa de ballena, y de 90 á 120 gramos de aceite, sea mineral ó vegetal, por entrada de ocho horas.

En Almaden los candiles, cuando se llenaban por la Hacienda, llevaban 80 gramos de aceite para seis horas; los de los entibadores, como por punto general necesitan mejor luz, y para conseguirlo tienen más gruesa la torcida, gastan 120 gramos por entrada, y los candiles de los ingenieros y capataces se llenan hoy con 160 gramos, porque su estancia en la mina puede prolongarse más que la entrada ordinaria de un trabajador.

Suponiendo que la cantidad de aceite que se echa en los candiles es uniforme, los obreros adquieren tal práctica para observar el consumo, que sólo mirando el combustible que les queda conocen con gran aproximacion el tiempo que llevan en la mina y el momento en que deben abandonar las labores.

Si admitimos que el precio medio del kilógramo de aceite vegetal sea de 1 peseta 25 céntimos, podrémos deducir que el gasto de alumbrado por obrero, en cada una de sus entradas en las minas, es de unos 15 céntimos de peseta, no incluyendo el valor de las torcidas. Con aceite mineral el gasto es algo menor, y es el mínimum usando grasa de ballena ó sebo de caballo, pues puede valuarse en 10 céntimos de peseta por entrada.

El precio de las candilejas de Almaden es de 9 pesetas la docena, valiendo una de las de laton 2'50 pesetas.

Los candiles de estribo, ó de cebolla, cuestan 18 pesetas por docena, y las lámparas ordinarias de Saint-Etienne, ó del Norte de Francia, no pasan de 0'60 pesetas cada una.

Los candiles oscilantes ingleses, destinados á los obreros y hechos de hoja de lata, varian en su precio de 15 á 17 pesetas la docena, y los de laton de la misma clase tienen un precio de 20 pesetas por docena como mínimum.

Las linternas de mano, con cristales laterales de un centímetro de grueso, cuestan 30 pesetas la docena, y el mismo número de las cilíndricas vale 20 pesetas: en las denominadas sordas las hay de muchos precios, vendiéndose las más baratas á 17 pesetas docena.

Las linternas alemanas no cuestan más de una peseta cada una, y otro tanto el candil de sombrero con reflector.

Las lámparas de geómetra, que no se hacen sino á peticion del comprador, valen 6 pesetas una, miéntras que los candiles de petróleo se venden á 5 pesetas docena, y á poco más los modificados por Lee hermanos.

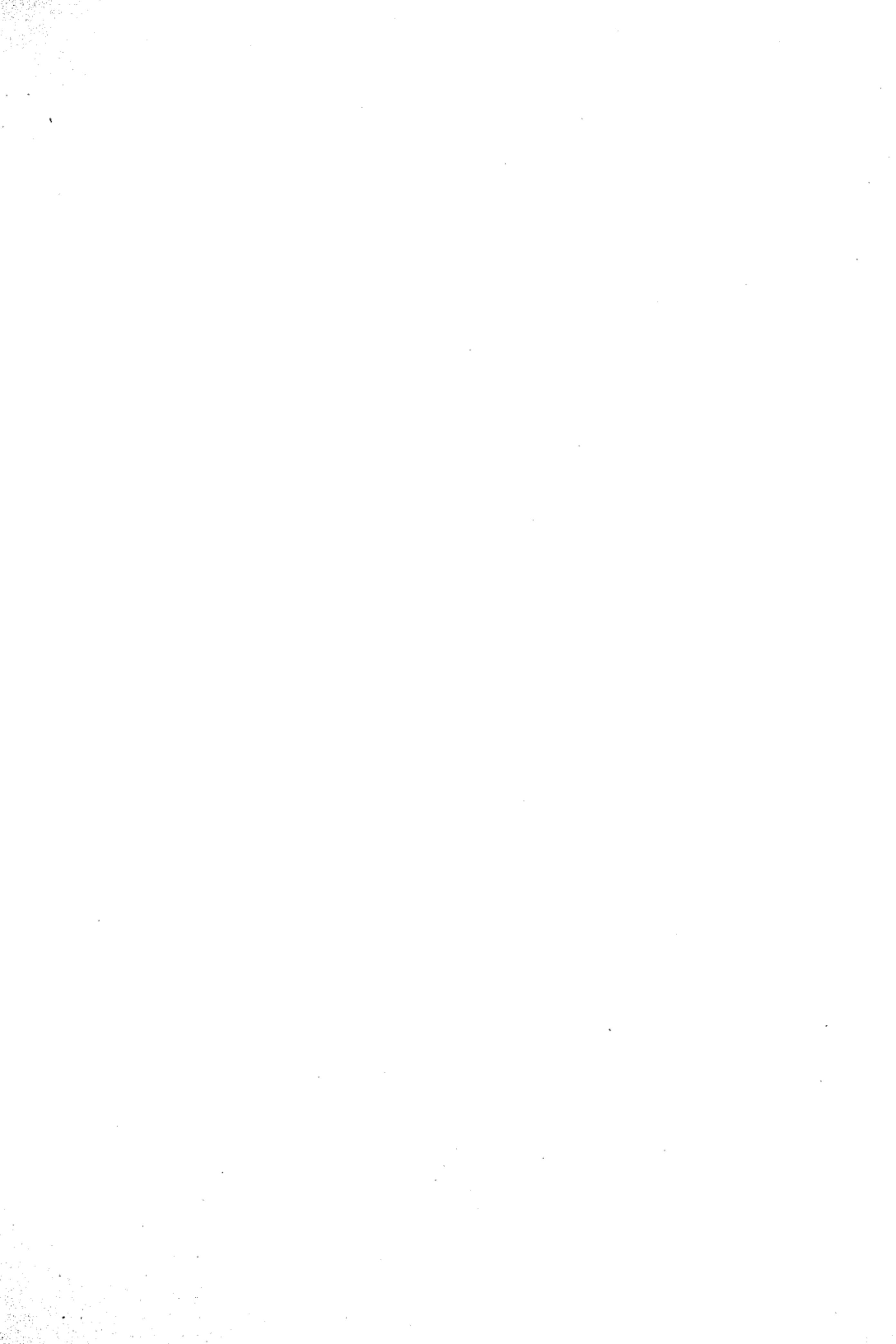
Por fin, la lámpara Wind tiene por precio 8 pesetas.

Todos los aparatos ingleses y alemanes que hemos citado pueden comprarse, á los precios dichos, en casa de los

fabricantes Joseph Cooke and C.º, 82, Lawley street, Birmingham; N. Risdale, 54, Minories, Lóndres, y H. Körner und Comp., Berlin, que facilitan la adquisicion sin más que abonar 5 por 100 al recibir el encargo, y el resto á noventa dias fecha, cargando el precio de la moneda inglesa ó alemana á los cambios corrientes.

Los candiles franceses y españoles se encuentran por doquiera, sin salir de nuestro país, á los precios que hemos señalado.

SEGUNDA PARTE.



CAPÍTULO PRIMERO.

GASES INFLAMABLES.

Orígen y presencia de los gases inflamables dentro de las minas.—Explosiones.—Análisis.—Aparatos indicadores.—Siniestros notables.

Ninguno de los aparatos de iluminacion descritos puede usarse en los subterráneos cuando se desprenden en ellos gases inflamables, que arderian al contacto de las luces.

Se presentan éstos en general en las minas de hulla, pero no en todas las capas indiferentemente, y su aparicion está ménos relacionada con la calidad del carbon que con las condiciones topográficas de las excavaciones, siendo siempre más escasos cuando se explotan los afloramientos ó hay grietas en el terreno, pues en estas circunstancias su desprendimiento ha tenido sin duda lugar con anterioridad á los trabajos del criadero.

Como los gases, especialmente el hidrógeno carbonado, se encuentran entre los poros de la hulla con una tension considerable, se desprenden, no sólo de las partes que se ponen al descubierto, sino tambien en las inmediatas, pues el vapor podrá romper fácilmente la cubierta que hasta entónces le aprisionó. Así sucede, en efecto, produciéndose un

ruido particular, al que los mineros ingleses han dado el nombre de *música del gas*, sonido muy perceptible en las excavaciones donde éstos abundan.

Es tal la proporcion de gas de pantanos que contienen ciertas hullas, que si se coloca un trozo de carbon recien explotado bajo una campana neumática, á las cuarenta y ocho horas se puede recoger un volúmen de gas cuádruplo que el del carbon, es decir, que en igualdad de espacio estaria el primero condensado á una presion de unas cuatro atmósferas; pero fácil es comprender que semejante presion ha de ser mucho mayor, fijándose en que está encerrado tan sólo en la parte libre que entre sí dejan las moléculas de la hulla (*).

Los gases inflamables, cuya cantidad en las excavaciones aumenta naturalmente en proporcion al desarrollo de las labores, son más abundantes á gran profundidad, cerca de las fallas, de los pliegues de las capas, etc., sin que esto sea de extrañar, pues en tales sitios hay mayores superficies de carbon quebradas y puestas al descubierto. En estas circunstancias suelen hallarse surtidores de gas, que si á veces se ha aprovechado, conduciéndose convenientemente por tuberías, ya para el alumbrado, ya como combustible en algunas fábricas, por lo general, los citados surtidores (**) son un inconveniente más en la explotacion subterránea.

No sólo tiene el gas hidrógeno proto-carbonado el inconveniente de arder al contacto de una luz, sino que mezclado con cierta cantidad de aire produce una explosion, si

(*) MARSILLY. *Annales des mines;* 5e série, t. XII, p. 356.

(**) Los franceses denominan *soufflards* y los ingleses *blowers* á estos escapes de gas, que en español convendria tal ver nombrar *bufadores*, aceptando un término provincial.

su temperatura se eleva al rojo blanco por la aproximacion de un cuerpo candente.

Si en una mina cualquiera se presenta el gas inflamable al poner el carbon al descubierto, sigue luégo desprendiéndose de la masa general del criadero, por lo que siempre es temible en los de hulla dar con trabajos abandonados en donde se pueden acumular miles de metros cúbicos de gases, en proporcion naturalmente con el desarrollo de aquellas excavaciones, pues aunque los hundimientos las hayan rellenado en parte, siempre hay entre los escombros numerosos espacios vacíos, en los que sucesiva y paulatinamente se acumula el peligroso fluido.

El desprendimiento del hidrógeno proto-carbonado en las minas no se halla sujeto á una regla constante; mas como su densidad es menor que la del aire, su presencia se acusa por un descenso de presion, tanto más notable cuanto mayor sea la proporcion del gas en la atmósfera (*). De aquí considerar el barómetro como un aparato de observacion indispensable en los criaderos sujetos á exhalaciones nocivas; conveniencia ó necesidad reconocida por la ley inglesa de 1872, la cual dispone que en toda mina donde haya desprendimiento de gases nocivos se coloquen en un sitio visible y de fácil observacion para los obreros un barómetro y un termómetro, exigiéndose hasta para aquellas excavaciones donde se haya probado la existencia del hi-

(*) Mr. Callon, en su obra de laboreo, hace un cálculo equivocado para deducir el cambio de aire por gas que representa una variacion de altura de un centímetro en la columna barométrica. Una subida de $0^{m},01$ indica en realidad que $\frac{1}{76} \times \frac{1000}{558}$ de gas inflamable ha sido sustituido por el aire, un descenso igual indica lo contrario: cambios próximamente duplos de lo que expresa Callon, que olvidó en sus cálculos la razon entre las densidades del aire y el hidrógeno carbonado, considerando erróneamente una y otra como idénticas.

drógeno carbonado un año ántes de la época de la explotacion, y áun cuando no se encuentre el gas al hacerse los trabajos.

El gas ácido carbónico y el hidrógeno sulfurado se acusan tambien en el barómetro por sus diferentes densidades respecto al aire, y por esto el uso del citado aparato puede ser de tanta utilidad en las minas en que estos gases se presentan, como lo es en aquellas donde se desprende el hidrógeno proto-carbonado. Tiene ademas el barómetro la ventaja de señalar los cambios que pudiéramos llamar naturales y debidos al estado de densidad de la atmósfera; cambios á los que, como es natural, corresponde mayor ó menor facilidad para que los gases de la hulla puedan desprenderse; pues si bien es cierto que las variaciones de presion atmosférica son insignificantes cuando se comparan con la tension que tienen los gases dentro del carbon, los que se hallan acumulados en las antiguas excavaciones se ponen en movimiento con cualquier cambio en el ambiente.

Cuando por el contacto de una llama se produce una explosion en una mina donde hay gas de pantanos, resultan en la atmósfera las reacciones químicas de toda combustion, es decir, esencialmente vapor de agua y ácido carbónico y aislamiento del nitrógeno, todo acompañado de un gran desarrollo de calor y una dilatacion violenta en los gases ambientes, seguida de una reaccion por contraccion. Se producen, pues, no sólo un cambio en la naturaleza de la atmósfera de los subterráneos, que se hace irrespirable, sino, ademas, terribles catástrofes, capaces de privar de la vida á centenares de obreros, como justificarémos más adelante.

Segun experimentos iniciados por Sir Humphry Davy, y corregidos despues, el gas de pantanos, para su combustion

en unos casos y su explosion en otros, exige hallarse unido á ciertas cantidades de aire atmosférico. Cuando el volúmen de hidrógeno proto-carbonado llega en la mezcla al 4 por 100, al aproximar un cuerpo que proporcione la temperatura necesaria, arde tranquila y aparentemente, lo que no sucede si en la atmósfera hay menor cantidad de gas que la dicha. La intensidad de la combustion va aumentando á medida que crece la proporcion de gas, y cuando llega á ser de 7'7 por 100, la inflamacion se propaga en toda la masa de aire, aunque con dificultad. Si llega al 12 ó 13 por 100 se produce una explosion de gran fuerza, que disminuye á medida que crece la cantidad de gas, pues sólo se repite el efecto que da un 7'7 por 100 si con el aire se halla un volúmen de mofeta del 15 por 100: pasado este límite, la combustion se va amortiguando, y ántes de que en la mezcla haya una cuarta parte de gas inflamable, las luces se apagan.

Davy demostró tambien el primero que el hidrógeno proto-carbonado es mucho ménos combustible que otros gases inflamables; no detona ni se enciende por la presencia de un ascua de carbon ni un hierro enrojecido, sino que exige la de una llama ó de un cuerpo candente para que á su contacto se incendie. Asimismo el calor producido por la combustion del gas de pantanos es mucho menor que el de los demas gases inflamables, y áun al detonar produce una expansion comparativamente pequeña.

Mezclando un volúmen de ácido carbónico con siete de hidrógeno proto-carbonado, ó bien seis volúmenes de éste con uno de nitrógeno, todo poder explosivo desaparece.

Como quiera que no es sólo el gas de pantanos el que se desprende de los criaderos de carbòn, se han ensayado en

muchas ocasiones los gases explosivos de las minas, y entre los diversos análisis hechos merecen fe los debidos á Hr. Bischoff, profesor que fué de la Universidad de Bonn, y á Mr. Graham, célebre físico inglés. Sostenia el primero que el gas oleificante, ó hidrógeno bicarbonado, estaba siempre unido al proto-carbonado ó gas de pantanos en las minas de hulla, áun cuando en mezcla variable, encontrándose ademas, junto con ellos, pequeñas cantidades de nitrógeno y acido carbónico. Los químicos ingleses niegan la presencia del hidrógeno bicarbonado que el mismo Bischoff apénas encontró en la atmósfera de las minas de la cuenca de Saarbrück; pero sí en gran cantidad en el aire de un pozo excavado en la formacion jurásica de Schaumbourg, para explotar una capa de carbon. Hay, pues, mucha variedad en la composicion de los gases explosivos de las minas, y hé aquí un cuadro que resume cinco análisis diferentes :

COMPOSICION.	AUTORES.				
	BISCHOFF.			GRAHAM.	
	Mina Gerhardt. — Saarbrück.	Mina Vellersweiler. — Saarbrück.	Mina de Schaumbourg.	Mina Killingworth — Yorkshire.	Mina Prince of Wales. — Staffordshire.
Hidrógeno proto-carbonado.	83'08	91'36	79'10	94'2	82'5
Hidrógeno bicarbonado.	1'98	6'32	16'11	»	»
Acido carbónico. . .	1'50	»	»	1'3	1'0
Nitrógeno.	13'44	2'32	4'79	4'5	16'5
TOTALES. . . .	100'00	100'00	100'00	100'00	100'00

Mr. Playfair ha encontrado en várias muestras de gases inflamables los resultados siguientes (*):

LOCALIDADES.	Gas de pantanos.	Nitrógeno.	Oxígeno.	Acido carbónico.	Hidrógeno.
Walsend..........	92'80	6'90	0'60	0'30	»
Hebburn..........	91'80	6'70	0'90	0'70	»
Id. un mes despues...	92'70	6'40	»	0'90	»
Jarrow...........	83'10	14'20	0,40	2'10	»
Id.	79'70	12'13	3'00	»	3'00
Well-gate.........	98'20	1'30	»	0'50	»

Puede deducirse de los análisis anteriores que en todos los casos el hidrógeno proto-carbonado es la parte esencial de la mezcla, y que el nitrógeno le acompaña constantemente, debiendo, sin duda, ambos su orígen á la misma descomposicion de las plantas que formaron el carbon.

El conocimiento de las propiedades físicas y químicas de los gases inflamables indica desde luégo las precauciones que deben tomarse en toda mina en que aquéllos se encuentran. Así, por ejemplo, sabiendo que la densidad del hidrógeno carbonado es menor que la del aire, nunca se deberán colocar las luces en la parte alta de las excavaciones: convendrá seguir un método de explotacion, si es posible, de arriba para abajo y tener todo género de precauciones cuando se entra en los subterráneos despues de una interrupcion en el trabajo, pues durante todo el tiempo que no ha habido alumbrado que lentamente haya ido quemando los gases que se desprenden, éstos van acumulándose en las labores, y puede producirse una explosion al llegar á ellos

(*) *Transactions of the north of England institute of mining and mechanical Engineers*, t. XII, p. 190, 201.

con una luz, segun se ha comprobado viendo que un gran número de los accidentes que ocurren en las minas tienen lugar los lúnes por la mañana, cuando entran los mineros despues de haber estado suspendidos los trabajos todo el domingo, áun cuando no se haya detenido la ventilacion.

Hr. Bischoff, el profesor aleman que ya hemos citado, refiere que habiendo estado á visitar una galería de una mina de hulla donde no se habia trabajado algunos dias, encontró los gases que constituian la atmósfera dispuestos de tal modo, que eran inflamables en la parte alta y detonantes en el medio, miéntras que el aire atmosférico, casi puro, ocupaba la parte inferior.

La velocidad con que se comunica la combustion en una atmósfera en que hay gases inflamables se ha medido experimentalmente quemando una mezcla gaseosa animada de un movimiento de traslacion conocido, hasta conseguir que la zona inflamada permanezca estacionaria.

Así se ha llegado á establecer para las mezclas de aire y gases inflamables que se producen en las minas de hulla, la velocidad en metros por segundo con que se propaga la combustion, y el cuadro siguiente es un resúmen de várias observaciones hechas en Inglaterra (*) con tal objeto:

(*) W. Galloway. *Prevention of Colliery accidents.*

OBSERVACIONES.	Volúmen de gas inflamable contenido en uno de mezcla.	Volúmen de gas inflamable correspondiente á un volúmen de aire.	Velocidad de combustion en metros por segundo.
1	0'079	0'086	0'041
2	0'093	0'103	0'325
3	0'103	0'115	0'505
4	0'106	0'120	0'560
5	0'113	0'127	0'524
6	0'115	0'130	0'515
7	0'118	0'134	0'440
8	0'123	0'140	0'375
9	0'138	0'161	0'139

La velocidad máxima es de unos 0^{m}'560 por segundo, y corresponde al caso en que los gases inflamables representan de 0'108 á 0'122 en un volúmen de mezcla: si disminuye ó aumenta la proporcion de aquéllos, la velocidad de combustion decrece rápidamente hasta ser nula, del mismo modo si la cantidad de hidrógeno carbonado no pasa de 0'077 que si excede de 0'145: fuera de estos límites la mezcla de aire y gases carbonados ni es explosible ni inflamable.

De aquí puede concluirse que una pequeña adicion de gas de pantanos puede trasformar en mezcla muy peligrosa una inofensiva, y tambien es fácil explicar así los casos de catástrofes en aquellas circunstantancias en que apénas se habia notado en una mina la presencia de gases inflamables pocas horas ántes de una explosion.

Mr. Ansell inventó en 1866 un aparato que llamó *Fire-damp indicator*, fundado en la propiedad que tienen los gases hidrogenados de atravesar los barros porosos. Se compone de un cilindro de cobre, dentro del que se mueve un piston provisto de una varilla, cuya extremidad libre está en relacion con una aguja que recorre un cuadrante

dispuesto en una de las bases del cilindro, miéntras que la base opuesta es un disco de barro cocido. El gas explosivo, al penetrar en el cilindro, á traves del disco de barro, produce una presion superior á la de la atmósfera exterior, y arrastrando el piston, mueve la aguja del cuadrante, tanto más cuanto mayor sea la cantidad de gas, con lo que puede medirse la proporcion de éste de una manera que, segun el autor, es exacta, pues el aparato es muy sensible.

Con el mismo objeto, Mr. Addisson, de Bombay, propuso colocar un alambre á lo largo del techo de las excavaciones en que fuera de temer la presencia de los gases inflamables, y sujetar á él, con cordones de seda, globos de goma, de un decímetro de diámetro, llenos de hidrógeno. Estos globos ascenderian á lo más alto de las labores cuando el hidrógeno carbonado no existiese, y por el contrario, bajarian tanto más cuanto mayor fuese su cantidad, pues que la atmósfera va siendo cada vez de menor densidad.

Ni estos procedimientos ni otros semejantes han llegado á plantearse, pues se tiene como más práctico el conocer la presencia del hidrógeno carbonado en las minas con auxilio de las luces que se llevan en los subterráneos; pero, últimamente, Mr. Daubrée ha dado cuenta á la Academia de Ciencias de París de un método propuesto por los Sres. Mallard y Le Chatelier para conocer con seguridad la existencia de la mofeta en las minas de carbon, ya que el sistema generalmente seguido de observar la llama de las lámparas que emplean los mineros, si bien sencillo, no es eficaz, pues sólo estriba en la exacta apreciacion de una pequeña aureola azul que rodea la llama de la lámpara cuando el gas inflamable llega hasta ella, coloracion que

muchas veces es inapreciable, ademas de que sólo se acusa cuando el hidrógeno carbonado constituye el 3 por 100 de la atmósfera, con lo que no se pueden prever muchos accidentes; pues, segun Mr. Gallovay ha demostrado, el aire que contiene o'75 por 100 de mofeta es explosivo en presencia del polvo de carbon producido en la explotacion de los criaderos.

El método de Mallard y Le Chatelier se reduce á tener, en los puntos en que se sospecha puede haber desprendimiento de hidrógeno carbonado, lámparas que queman gas hidrógeno, el cual produce una luz apénas perceptible, pero de un calor inmenso. Si la mofeta se presenta, arde al contacto del hidrógeno, y la llama se prolonga y toma alrededor color azul bien perceptible, pues no queda eclipsado por otra luz más brillante. Las lámparas destinadas á servir de testigo están encerradas en un tubo de cobre, provisto, en un sitio conveniente, de un lente de aumento, que facilita la observacion desde puntos distantes.

Muchos experimentos han demostrado, segun los autores, que con este sistema se puede apreciar hasta un o'25 por 100 de gases inflamables, introducidos en la atmósfera de las minas.

Serian inexplotables muchos criaderos si no se empleasen medios especiales, cual garantía contra los peligros de los gases explosivos, cuyos efectos son de una violencia tan terrible, que destruyen cuanto hallan en su camino, y pueden alcanzar hasta la superficie.

Las personas que han penetrado en una mina despues de una de estas calamidades han visto repetidas veces los mayores estemples de las entibaciones hechos astillas, cual los mimbres en las manos de un niño; el viento producido por

la dilatacion de los gases es tal, que los cuerpos de los individuos víctimas de la catástrofe son lanzados contra las paredes de las minas ó contra las enmaderaciones, donde á veces han dejado la misma impresion que si hubieran sido de un cuerpo duro é inflexible; los muros de contencion más fuertes aparecen derruidos, y con frecuencia hundimientos espantosos completan cuadro tan triste. El mal no se limita á esto, pues las grandes cantidades de ácido carbónico y de nitrógeno que resultan por la combustion llenan los trabajos y hacen morir asfixiados á los que escaparon á la accion instantánea de la explosion; y si á esto se agrega el que más de una vez las máquinas ó aparatos encargados de la ventilacion de la mina en que ha ocurrido la catástrofe han quedado destruidos, haciendo imposible el socorrer á los obreros que se hallan dentro de las excavaciones, se tendrá idea de lo terrible del caso.

La *Edimburgh Review* ha consignado que anualmente perecen en las minas 1500 obreros y salen heridos más de 16000 por causa de las explosiones de gas. La misma revista hacía observar cuán humillante es para la humanidad conocer que los métodos que se emplean para evitar tan terribles catástrofes son impotentes y nada progresivos.

Mr. Mackworth, en una conferencia dada en 1860, en el Instituto Real de la Gran Bretaña, presentó la siguiente estadística de las desgracias que anualmente ocurren en las minas de hulla de varios países:

Alemania.	1'89	muertos por 100	trabajadores.
Bélgica.	2'80	id.	id.
Francia.	3'10	id.	id.
Estados-Unidos. . .	3'20	id.	id.
Inglaterra.	4'50	id.	id.

Datos en cuyas tristes consecuencias no hay para qué insistir, pues son bien patentes desde luégo.

Algunos ejemplos, tomados entre los más notables de los que diariamente suceden, pondrán de manifiesto á nuestros lectores más de cuanto quisiéramos añadir.

La catástrofe más antigua de que se hace mencion tuvo lugar en 1710 en Bensham (Newcastle), costando la vida á 80 mineros; tambien en 1718 murieron otros 69 en Fatfield, y desde estas fechas apénas puede citarse un año en que se dejen de contar sucesos semejantes.

En la mina *Espérance*, del distrito de Lieja, ocurrió, en Junio de 1838, una explosion de efectos funestísimos. Al disparar un barreno, el fuego se propagó al hidrógeno carbonado que habia en los subterráneos, determinando una explosion en una labor distante de aquel punto. Murieron 69 mineros, y los que se hallaban en el sitio en que estallaron los gases se encontraron destrozados y quemados, con la particularidad que donde comenzó la inflamacion, los cadáveres estaban todos con la cabeza vuelta hácia el lugar en que principió á arder la mina. En otros sitios los mineros perecieron por asfixia.

Una catástrofe de las más terribles que registra la historia minera es la que ocurrió el 19 de Febrero de 1857 en la mina de Lundhill, causando la muerte de 189 personas.

El pozo maestro está en las cercanías de Barnsley, y muy próximo á la estacion de Wombwell en el camino de hierro de South Yorkshire, y el accidente se describió como sigue en el *Chambers Journal* de aquellos dias.

Los obreros, que habian empezado su trabajo á las seis de la mañana del dia en cuestion, estaban próximos á salir á mediodia, cuando la gente que habia en el exterior sintió

la tierra temblar, y una polvareda que se levantó en la superficie, al propio tiempo que se percibia el ruido de una detonacion interior, anunció claramente un desastre.

Las mujeres de los mineros abandonaron los preparativos de su frugal comida, los niños suspendieron sus juegos y todos corrieron á la boca del pozo de la mina.

Pronto se supo que una violenta explosion habia tenido lugar en los subterráneos, destrozando los aparatos de subida y bajada á la mina. A las dos de la tarde una espesa columna de humo salia por el pozo de ventilacion, y una hora más tarde, una magnífica, pero terrible llama, se presentó al exterior, indicando la combustion de los gases inflamados en la mina, produciendo inmensa tristeza á todos los concurrentes al considerar ya perdidos á los padres, hermanos, maridos é hijos, que momentos ántes vivian llenos de salud.

Fué una crísis terrible : la mina estaba ardiendo, y era imposible ayudar á los que se hallaban dentro : la responsabilidad de los directores era inmensa, pues si se cerraban los pozos, para contener el fuego, se condenaba á una muerte segura á los infelices que estaban en el interior, y si no se hacía así, el voraz elemento pronto destruiria todas las entibaciones, produciendo el hundimiento de los pozos, con lo que tambien perecerian de seguro los trabajadores, á los que ni en uno ni en otro caso se podia prestar socorro. Con estos antecedentes, se convocó una reunion de personas inteligentes, y se acordó por una decision unánime tapar los pozos, apagando el fuego por la falta de aire.

Antes de obrar así, varios hombres intrépidos habian bajado colgados, por alguno de los pozos, rescatando 18 mineros que se hallaban cerca, y cuando pasadas algunas

horas entre los mayores peligros, se tuvo la certidumbre de que sólo habia en los sitios á donde se pudo llegar alguno que otro cadáver, al paso que el fuego, precedido de densas columnas de humo, se propagaba con rapidez extraordinaria, se pararon los trabajos, cerrando los pozos é inundando la mina para atajar el incendio.

Pocos dias despues, desaguadas las labores, se pudieron sacar los cuerpos carbonizados y destrozados de los que habian perecido, y con solemne y triste acompañamiento fueron conducidos al cementerio.

A la una y diez minutos del miércoles 12 de Diciembre de 1866 tuvo lugar en la mina *Oaks*, situada en Hoylemill, á unos dos kilómetros de Barnsley South Yorkshire, una gran explosion, al parecer originada por un barreno, que prendió un monton de menudos, que á su vez comunicaron el incendio á los gases existentes en la atmósfera subterránea.

Las labores alcanzaban una profundidad de 230 metros, desarrollándose en una superficie de más de diez kilómetros cuadrados.

Tres pozos, señalados con los números 1, 2 y 3, servian el criadero, muy próximos los dos primeros, y á medio kilómetro de ellos el tercero, por donde salia la corriente que ventilaba los trabajos, de un modo lo más perfecto posible, pues para obtener tal resultado no se habia omitido gasto ni sacrificio de ningun género.

Habia en la mina 354 obreros entre hombres y muchachos en el momento de la explosion, cuyo ruido apénas trascendió á la superficie, y áun cuando las máquinas siguieron funcionando regularmente, se advirtió la rotura del cintero en el pozo número 2 por una sacudida de la jaula,

simultánea con otra de la del pozo núm. 1, presentándose al mismo tiempo un denso humo en ambos pozos, que siguió por espacio de unos cinco minutos, cesando de pronto, para ser sustituido con una corriente de aire fresco, indicio cierto de haberse invertido la marcha de la ventilacion.

En cuanto sucedió esto, se quitó el cable del pozo número 2, subiendo tambien el del otro pozo, y se vió que estaba quemado por la punta en una longitud de 15 metros. Reemplazadas las jaulas, á las dos de la tarde bajaron á la mina varios ingenieros y capataces, encontrando en las cortaduras algunos obreros gravemente quemados, que se sacaron enseguida, colocando un cintero nuevo, y pronto 70 hombres comenzaron, á costa de los mayores esfuerzos, á buscar los mineros por todas las labores, y aunque se notó la presencia de grandes hundimientos é incendios en diversos puntos, durante la tarde y noche del miércoles se rescataron hasta 80 individuos, pero sólo 18 con vida.

El juéves, á las nueve de la mañana, ocurrió otra violenta explosion en la mina, y á las nueve y cincuenta minutos una tercera en las labores más profundas. La jaula del pozo núm. 1 quedó hecha pedazos, y comenzó á salir una espantosa columna de humo y polvo de carbon. Cuando sucedieron estas explosiones, estaban dentro de la mina dos ingenieros, cuatro capataces, dos penitentes y diez y siete operarios.

Sin variacion continuaron las cosas hasta las siete y media de la tarde, hora en que se presentó en la boca del pozo núm. 2 un denso humo blanco coronado por un penacho de llamas y seguido de una corriente de viento caliente, al mismo tiempo que se hundia el hogar de ventilacion y se quemaban las armaduras de las cubiertas de los pozos.

El viérnes 14, á las cinco de la tarde, cesaron las llamas que salian á la superficie, y trasladando la máquina de extraccion al pozo núm. 1, y haciéndola funcionar con ayuda de la locomovible del taller de carpintería, várias personas bajaron á la mina, rescatando un obrero vivo, pero adquiriendo el convencimiento de la muerte de los 25 individuos que habian entrado á prestar socorros dos dias ántes, pues por más que vocearon y miraron en los alrededores del pozo, ni oyeron ni vieron á nadie; pero sí pudieron observar un gran incendio, que consumia varios macizos de carbon.

Una junta de los mineros más prácticos é inteligentes de Inglaterra, presidida por el Inspector del gobierno, Mr. Morton, se reunió en King's Head, Barnsley, el mismo dia 14, decidiendo, en vista de los antecedentes y despues de oir á los que habian entrado últimamente en las labores, que debia prohibirse la bajada á la mina, para evitar nuevas desgracias.

En una nueva reunion, verificada el domingo 16, se dió cuenta de haber ocurrido nueve explosiones más desde el viérnes, y se acordó cerrar todos los pozos ménos uno, á donde se debia procurar llamar las aguas para establecer su extraccion.

La mina siguió cerrada largo tiempo, y más tarde se pudieron extraer las 361 víctimas de la mayor catástrofe que registra la historia de la minería (*).

A las dos de la tarde del 4 de Febrero de 1876 una detonacion sorda, parecida al ruido lejano del cañon, llevó la alarma á la ciudad de Saint Etienne, que pronto supo que acababa de producirse una explosion de gases en la mina de

(*) En esta misma mina perecieron por otra explosion, en 1847, 73 obreros.

Treuil, donde ya en 1871 habian perecido 90 mineros. La mina está muy cerca del camino de hierro de Lyon, y existen en ella dos pozos, el denominado *Jabin*, por el que penetra el aire, y el *Saint François*, donde hay un ventilador. Los gases deletéreos, resultado de la explosion, llenaron de tal modo la mina, que sólo al cabo de algunas horas de contínuo trabajo del ventilador se pudo bajar á ella. A costa de grandes esfuerzos se llegó á penetrar en las labores obstruidas por los hundimientos; pero como no pudo extinguirse el fuego que habia prendido la hulla, en cuanto se restableció la corriente de aire el incendió tomó mayor incremento, llegando á apoderarse de una galería entera de unos 200 metros de longitud, y siendo preciso para contenerle tapiar con arcilla las dos bocas de la excavacion y todas las labores que comunicaban con la misma. De 265 operarios que trabajaban en la mina, cuando ocurrió la catástrofe, sólo 25 pudieron salvarse, y áun éstos llenos de heridas y quemaduras, y de 47 caballos que habia en los subterráneos, únicamente tres salieron vivos.

El dia 10 de Setiembre de 1878 ocurrió en la mina *Prince of Wales*, en Albercane, á 10 millas de Newport, una terrible catástrofe.

Las labores alcanzan, en el sitio donde tuvo lugar el accidente, una profundidad de 330 metros, en una zona considerada como de las más ricas del criadero.

Aun cuando en las excavaciones se guardan todas las precauciones necesarias, se verificó una explosion á las doce del dia, oyéndose en la superficie un ruido sordo, y pudo observarse salia del pozo de ventilacion una gran llama, seguida de una espantosa columna de humo. Se reconoció que la máquina de bajada estaba destruida, y áun cuando

se restableció á toda prisa, y unos cuantos hombres decididos descendieron á la mina, de 373 individuos que en ella habia en el momento de la explosion, sólo pudieron salvarse 28, comprendiendo que no habia esperanza de arrancar á los demas de las garras de la muerte.

Se logró, no obstante, algo más tarde, extraer 10 obreros gravemente quemados, de los que murieron dos poco despues de salir á la superficie, y se recogieron 7 cadáveres.

A 400 metros de distancia de la entrada de la mina estaban las cuadras, donde se hallaron 14 caballos muertos. Fué imposible pasar más allá de este sitio, por la impureza del aire y la presencia de gases inflamables.

El incendio duró en los subterráneos, á pesar de las precauciones que se tomaron para apagarlo, más de quince dias, y al cabo de este tiempo pudo procederse á la triste operacion de extraer los cadáveres de una catástrofe de las más terribles del mundo.

En España, como las explotaciones de carbon mineral son hasta ahora bastante superficiales y de no muy gran desarrollo, las desgracias que se cuentan son relativamente insignificantes, si bien siempre sensibles.

Entre las várias ocurridas podemos citar la explosion que tuvo lugar en las minas de Barruelo (Palencia), en el verano de 1875, que produjo la muerte de tres obreros. En Villanueva del Rio (Sevilla) sucedió un caso análogo en 1867, y en Miéres (Astúrias), el 6 de Noviembre de 1878, una explosion, imprudentemente provocada por un muchacho, ocasionó su muerte y la de tres compañeros.

Donde han ocurrido desgracias más numerosas ha sido en la cuenca de Belmez (provincia de Córdoba).

En 16 de Julio de 1861, en la mina *Santa Elisa*, al

penetrar el capataz con tres obreros más, llevando candiles ordinarios, en una galería sin trabajos ya hacía tiempo, se provocó una detonacion, que dió muerte á los cuatro, y buscando el aire salida por la boca más próxima, destrozó la mesa de un torno, rompiendo las traviesas en que se apoyaba éste, derribó á los torneros y arrastró un chozo de palos y ramaje que cubria el pozo. Aun ocurrieron otras desgracias en los sitios cercanos de la mina, resultando, por la imprudencia de no emplear lámparas á propósito, cuatro muertos y cuatro heridos graves.

En esta misma mina de *Santa Elisa* ocurrió, el 1.º de Abril de 1868, otra explosion mucho más terrible que la anterior.

Entre dos y tres de la tarde se provocó un incendio de gases inflamables, cuya explosion hizo salir por los pozos columnas de fuego, que se elevaron más de 20 metros en la superficie, destrozando cuanto hallaron á su paso. El hogar de ventilacion quedó apagado, y destruido el cable de alambre que funcionaba en el pozo maestro. Lo primero que se hizo despues del suceso fué restablecer estos aparatos, procurando activar la ventilacion interrumpida, y cuando se logró entrar en los trabajos se comprobaron destrozos y hundimientos en todas las labores, consiguiendo ganar poco á poco los atoramientos, demostrándose hasta la evidencia que la muerte de los operarios dentro de la mina fué inevitable, y que sólo quedaba el recurso de sacar sus cadáveres.

La explosion se atribuyó á alguna imprudencia de los mineros, y despues de grandes esfuerzos pudo comprobarse que habian perecido 28 trabajadores, cuyos cadáveres se extrajeron en várias ocasiones: una suscricion abierta á favor de sus familias dió muy escasos resultados.

CAPÍTULO II.

ALUMBRADOS ESPECIALES.

Destruccion de los gases inflamables.—Diversos sistemas de alumbrado para evitar detonaciones.—Experimentos de Stephenson y Davy.—Accion de las telas metálicas segun J. Tyndall.—Teoría matemática de M. Mallard.

La idea primordial que ocurrió á los mineros para librarse de los gases inflamables fué esperar á que dentro de la atmósfera de los subterráneos se colocára, por su menor densidad, el hidrógeno proto-carbonado en la parte alta, miéntras que el aire quedase debajo, y proceder entónces á dar fuego al primero en ausencia de los trabajadores.

A este efecto, un obrero, vestido de cuero bien mojado, con careta y anteojos, se arrastraba por los suelos de las galerías donde habia gas nocivo, y con ayuda de un palo largo, en cuya extremidad iba una luz, tentaba las partes más altas y el frente de los tajos, dando fuego al gas.

Este método, seguido todavía en algunas minas de la provincia de Palencia, y en las de la cuenca de Villanueva del Rio, aunque limitado el vestido protector del obrero á una espuerta que se coloca en la cabeza, tiene numerosos inconvenientes, pues no sólo el encargado de tan peligrosa

tarea, y al que llaman *el penitente*, está de contínuo en inminente peligro, sino que ademas, cuando los gases no son simplemente inflamables, sino detonantes, la seguridad de la mina se compromete, hay peligro, en todos los casos, de prender fuego al carbon y á las enmaderaciones, y los productos que resultan de la combustion, permaneciendo dentro de las labores, pueden producir la asfixia de los obreros. En fin, hay algunas minas donde tiene que repetirse la operacion de la quema hasta tres veces al dia.

Un método análogo al del penitente se usó en las minas de Inglaterra, pero con ménos peligro para el *fireman*, pues en lugar de llevar él mismo la luz, la hacía mover en una especie de carrillo colgado de un alambre fijo en el techo de las galerías, tirando de una cuerda desde un sitio libre de gases inflamables. De este modo, si el obrero no se hallaba tan expuesto, los demas inconvenientes que hemos señalado subsistian.

Tambien se inventó en Francia poner una llave de fusil rodeada de pólvora, y para determinar el fogonazo que prendiese fuego á los gases de las minas, un operario, *le canonier*, tiraba desde sitio seguro del extremo de una cuerda atada al gatillo.

El mismo resultado se propuso conseguir Mr. Gairaud hace pocos años, poniendo en conocimiento de la Academia de Ciencias de París, en 1865, la idea de determinar la explosion del hidrógeno carbonado en las minas con una serie de chispas eléctricas, producidas diariamente y ántes de la entrada de los obreros á los sitios de labor, con ayuda de un aparato Ruhmkorff.

Citemos tambien el procedimiento del doctor aleman Wehrle, fundado en la propiedad que tiene la esponja de

platino de producir la combustion lenta y sin llama del hidrógeno carbonado, por lo cual proponia el proyectista colocar en las minas bolas hechas con dos partes de arcilla y una de platino convenientemente preparado, á fin de conseguir sin peligro la quema del gas inflamable: sistema que el frances M. Coqueillon recientemente ha querido desenterrar, si bien sustituyendo el platino con el paladio, que, segun él, verifica la combustion con más prontitud y uniformidad (*).

Aun cuando no han pasado de la categoría de proyectos, podemos mencionar los procedimientos de M. Meinary, segun los que el gas de pantanos puede extraerse de las minas, ya recogiendo naturalmente el gas, en unas excavaciones practicadas en lo alto de las galerías, y absorbiéndole por medio de tubos metálicos abiertos por un extremo, y unidos por el otro con un conducto general que saliese á la superficie y comunicára con un ventilador, ya sin más que establecer una cañería de tubos de barro, que absorba el gas hidrogenado, para despues extraerle con un ventilador aspirante.

El medio llamado de lámparas perpétuas es algo mejor. Consiste en colocar en la parte alta de las excavaciones, y áun en todos los sitios donde se señala la presencia de gases inflamables, lámparas constantemente encendidas, que los

(*) Aun cuando M. Trasenster ha comprobado experimentalmente la ineficacia de estas teorías, *Aunales des travaux publics de Belgique*, t. VII, p. 179, un alumno de la Escuela de Minas de Freiberg, llamado Koerner, ha ideado hace pocos meses el construir una lámpara que se habia de usar en los subterráneos, siempre que hubiera gases inflamables, y dispuesta de modo que el aire necesario para la combustion pasase á traves de un receptáculo relleno de piedra pómez y platino en esponja, con lo cual, condensándose el hidrógeno-carbonado, se evitaria que llegase á la llama.

quemen á medida que se produzcan: el peligro se disminuye en una notable proporcion, pues se evitan las acumulaciones del gas inflamable ó detonante. Este sistema, que algun tiempo ha estado en uso en Francia é Inglaterra, y áun hoy se emplea á veces en España en las minas de Astúrias y de la cuenca de Espiel, tiene el inconveniente, como los medios ántes citados, de sustituir el hidrógeno carbonado y el aire, con ácido carbónico, nitrógeno y vapor de agua, gases todos irrespirables y de efectos tanto más sensibles, cuanto que para facilitar el que el gas inflamable vaya á la parte alta de las labores y no se difunda con el aire, la ventilacion de las minas no puede ser muy activa.

Todas estas tentativas, basadas en la combustion del gas explosivo, no son sino paliativos peligrosos, y desde luégo hacen comprender la necesidad de buscar otros procedimientos que conduzcan á mejor resultado.

Dos medios solamente hay para ello : ó extraer los gases perjudiciales fuera de la mina, ó evitar el contacto de las luces con semejantes gases, para lo que es indispensable que el alumbrado de los mineros sea distinto del usado ordinariamente.

En principio es verdad que una mina debe estar ventilada con una corriente de aire producida de una manera natural ó artificial, y de tal intensidad, que limpie contínuamente la atmósfera viciada de los subterráneos; mas como la presencia de gases nocivos puede ser fortuita y en gran cantidad, ya por la aparicion de un *bufador*, ya por un hundimiento ó el encuentro de trabajos abandonados; y como ademas en las galerías en que la corriente de la ventilacion no es directa, los gases hidrocarburados, como más ligeros que el aire, se acumulan en los huecos del techo

y entre las enmaderaciones, si llega á introducirse en la mina una luz descubierta, el fuego se trasmite cual en un reguero de pólvora, y una explosion inevitable dará por resultado una multitud desolada de viudas y huérfanos.

Cambiando el sistema de alumbrado es como únicamente puede darse solucion al problema.

Sir James Lowther habia observado ya el siglo pasado que el gas que se desprendia en las minas de hulla en su forma usual no se inflamaba con las chispas producidas por el pedernal y el eslabon. Fundado en esto uno de sus empleados, inventó, en 1760, un aparato para dar luz por medio de una sucesion de chispas obtenidas, haciendo rodar un disco de acero contra un pedernal que tenía en las manos un muchacho, miéntras con la otra movia rápidamente el disco. El aparato de que da idea la figura del fróntis de la Memoria, ensayado por primera vez en Whitehaven, ademas de producir escasa luz, llegó en algun caso á encender el gas carbonado, cual sucedió en 1825 en Hebburn, provocando una explosion, que causó cuatro víctimas (*).

Humboldt, el gran filósofo y viajero, concibió en 1796 y dió la idea de una lámpara (**) para iluminar los subterráneos cuando las luces comunes no pudieran usarse: fundado el aparato en aislar enteramente su luz de los gases de la mina, sólo podia arder el tiempo pequeño que duraba el oxígeno encerrado dentro de la lámpara, aunque para aumentarle se comprimiese el aire que la llenaba.

Otro aparato semejante, de aislamiento, fué tambien ideado en 1813 por el doctor inglés Clanny, proporcionan-

(*) *Transactions of the nora*, etc., t. xv, p. 207.
(**) *Journal des Mines*, t. VIII, pág. 839.

do el oxígeno para la combustion de la luz, ya del exterior, ya del interior de la mina, despues que con ayuda de un aparato soplante se le hacía pasar á traves de agua, unas veces pura, otras con ciertos reactivos en disolucion. Es evidente que para que funcione esta lámpara hay necesidad de una fuerza extraña á ella; condicion poco práctica, que ha hecho desechar el aparato, y otro tanto ha sucedido, aunque por distinta razon, con el ideado por Humboldt.

Tambien se ensayaron como iluminacion en las minas donde hay gases explosivos, las sustancias conocidas con el nombre de fósforos de Kunckel, Canton, Baldwin y Bolonia. La primera es el cuerpo que se emplea ordinariamente en la fabricacion de los fósforos, la cual, expuesta al aire en la oscuridad, da una luz difusa por consecuencia de la oxidacion superficial que experimenta.

El fósforo de Canton se obtiene calcinando conchas de ostras al aire libre y durante una media hora, despues de lo que las partes más blancas y mayores se recogen, muelen y mezclan con un tercio de su peso de flor de azufre, metiendo todo en un crisol bien enlodado, que se calienta al rojo durante una hora. Cuando se ha enfriado el crisol se recoge el contenido, que al llevarse á la oscuridad despues de expuesto al sol, da una débil luz durante cierto tiempo, en el que, segun parece, se convierte el sulfuro cálcico en sulfato.

Se prepara el fósforo de Baldwin fundiendo el nitrato cálcico, que se vierte en un molde de hierro previamente caldeado para obtener unas barritas que, como el fósforo de Canton, cuando se han expuesto al sol emiten luz en la oscuridad.

El fósforo de Bolonia se prepara con una variedad de

baritina ó espato pesado, calcinando el mineral en union con una sustancia carbonosa, que generalmente suele ser la goma arábiga, aunque tambien puede usarse otro mucílago cualquiera, ó simplemente el aceite de olivas. Si la materia así preparada se expone á la luz directa del sol, y despues se lleva á un sitio oscuro, emite una débil luz, que pudiera usarse como alumbrado en un caso extremo (*).

Con todos los medios de que acabamos de hacer mencion, el problema del alumbrado en las minas donde existan gases inflamables quedaba sin resolver, hasta que Stephenson y Sir Humphry Davy verificaron los experimentos, de que vamos á hacer una rápida historia.

La opinion que prevalece entre los antiguos mineros de Newcastle (Newcastle folks) es que George Stephenson (**) inventó la lámpara que se conoce con el nombre de *seguridad*, ántes que Davy, pues en cierta ocasion se vió á aquél observando «que la llama de una vela no podia pasar á traves de las pequeñas aberturas del enrejado de una pantalla de chimenea, con lo que tuvo la idea de una lámpara para las minas.» Despues él mismo construyó y llevó una lámpara á Killingworth Colliery, ántes que ninguna otra persona hubiera ensayado nada bajo semejantes circunstancias. Habia imaginado una lámpara que tenía, segun sus

(*) Los relojes llamados *luminosos*, últimamente puestos en moda, y los cuales durante la noche emiten luz suficiente para ver la hora, se confeccionan sin más que barnizar la esfera con una sal de bario preparada como el fósforo de Bolonia.

(**) Nació Stephenson cerca de Newcastle, el 9 de Junio de 1781, siendo pastor cuando muchacho, y más tarde minero. A los diez y siete años aprendió á leer y escribir, y luégo un poco de aritmética: merced á su talento excepcional, en 1829 construyó la primera locomotora de gran velocidad, y puede decirse que creó los caminos de hierro, llegando á merecer el título de rey de los ingenieros. Murió, rodeado de las mayores consideraciones, el 12 de Agosto de 1848.

propias palabras, «una chimenea en la parte superior y un tubo en la inferior, por donde entraba el aire», de tal suerte que por el gran tiro no permitiera descender el hidrógeno carbonado á la llama, ni ésta atravesar la tela de metal que llevaba el tubo, evitándose toda explosion.

Un hojalatero de Newcastle hizo la lámpara con arreglo á las instrucciones que se le dieron, y el 21 de Octubre de 1815 se llevaron á cabo los primeros ensayos en la mina.

Stephenson, un capataz llamado Wood y otro obrero experimentado bajaron al fondo de un pozo, internándose en una galería abandonada desde largo tiempo por causa de los gases mortíferos que en ella se producian. Pasó primero el capataz, marchando á oscuras hasta el sitio en que habia gas inflamable, asegurando á su vuelta que si se introducia una luz, de seguro habria una explosion. A pesar de esto, Stephenson, con su lámpara encendida, se adelantó con seguro paso, quedando sus dos compañeros en sitio seguro, desde donde le vieron desaparecer á lo largo del tenebroso subterráneo.

Con el mayor valor y serenidad (*) puso Stephenson su lámpara en la corriente de aire explosible, la llama despidió al momento un vivo destello, despues vaciló algunos instantes, apagándose por fin. Volvió donde estaba el capataz, diciéndole lo que habia pasado, y excitándole á acercarse lo bastante para ver el experimento. Este se reprodujo exactamente como ántes, y aunque Stephenson le repitió muchas veces más, siempre se presentaron los mismos fenómenos.

La prueba se hizo de nuevo el 4 de Noviembre siguiente con otra lámpara mejorada, y el 30 del mismo mes, ántes

(*) Rebolledo, *Los Héroes de la civilizacion.*

de ser conocido aparato alguno semejante, se ensayó con éxito completo una tercera, todavía más perfeccionada.

En 12 de Enero de 1818 se reconocieron públicamente los servicios de Stephenson, presentándole un magnífico jarron de plata que contenia 1.000 guineas, producto de una suscricion entre los propietarios de minas; regalo que le fué ofrecido en un banquete celebrado en la Assembly Rooms at Newcastle, *en honor del descubridor de la lámpara de seguridad.* Stephenson, al dar las gracias, dijo, profundamente conmovido: «Siempre estaré reconocido y orgulloso por el magnífico presente que me habeis hecho, pues me recordará que mis esfuerzos han merecido la aprobacion de hombres distinguidos. Podeis estar seguros de que mi tiempo y mis facultades se emplearán siempre, en lo que de mí dependa, de modo que nunca tengais motivo para arrepentiros de la bondad con que me honrais.»

En Mayo de 1818 Sir H. Davy coleccionó y publicó en una Memoria, leida ante la Sociedad Real de Lóndres, todo cuanto habia hecho acerca de las lámparas de seguridad (*), viéndose palpablemente, por la originalidad de los experimentos relatados, que el descubrimiento atribuido á Stephenson tambien le pertenecia, y que podia haber habido dos personas que por diferentes medios consiguieran el mismo resultado; de idéntica manera que Daguerre y Talbot por diversos senderos han llegado juntos á la misma meta, en el arte de la fotografía.

Dice Davy en su Memoria: «Cuando yo fijé mi atencion en el asunto (las desgracias producidas en las minas por los

(*) Esta Memoria lleva por título: *On the Fire-damp of Coal mines, and on methods of lighting the mines so as prevent its explosion.*

gases inflamables) fué en Agosto de 1815, á consecuencia de una carta del Reverendo doctor Gray, y la verdad es que tuve muy poca esperanza de hallar un remedio eficaz. Todos los recursos de la ciencia se habian empleado ya para conseguir una buena ventilacion en los subterráneos, merced á la iniciativa de Mr. Buddle; la ligereza de los gases explosivos era perfectamente conocida; se tomaba todo género de precauciones para preservar las labores del terrible gas, y poderosas corrientes de aire se hacian circular en las minas, promovidas, no sólo con hogares y chimeneas, sino con bombas y ventiladores movidos con vapor, y por fin, el ensayo de sustancias fosforescentes y de diversas lámparas herméticamente cerradas tambien se habia hecho, sin conseguir buen éxito.

»Confeccioné primero una lámpara de dos valvas, la cual se cerraba automáticamente en una atmósfera contagiada con el hidrógeno carbonado, por consecuencia del mayor calor que la llama desarrollaba al quemar el gas; pero es evidente que esta lámpara no se podia usar en una atmósfera explosiva.

»Hice despues otros ensayos, pero creo innecesario explicar todos los pasos preliminares, y sólo recordaré el *orígen y progresos* de las investigaciones útiles que me condujeron al descubrimiento del principio por el cual puede detenerse y regularizarse la explosion debida á una llama con medios que ademas hagan conocer al minero la presencia de gases inflamables en los subterráneos.

»Comenzaré por un ligero estudio químico de la sustancia con que hay que luchar.

»El análisis de várias muestras de gases recogidos en las minas de hulla me demostró que la parte inflamable que

contenian era hidrógeno carbonado. Hice numerosos experimentos para ver las circunstancias en que los gases de las minas producen explosion, y tambien acerca del grado de su inflamabilidad, y en resúmen, puede decirse que siempre que los gases se hallan mezclados con tres ó cuatro volúmenes de aire, la atmósfera arde, si bien se extingue la inflamacion lentamente. Cuando la mezcla tiene cinco ó seis volúmenes de aire, estalla débilmente, siendo la explosion más enérgica si con un volúmen de gas hay siete ú ocho de aire. Las mezclas conservan su facultad explosiva hasta que hay una proporcion de un volúmen de gas para catorce de aire, y cuando éste se halla en mayor cantidad no hay explosion, ni siquiera incendio; pero se nota que las luces se alargan considerablemente, efecto que se percibe todavía en treinta partes de aire y una de gas.

»He encontrado tambien que el gas de las minas no es muy combustible, necesitando para arder el contacto de la llama del carbon ó el de un hierro al rojo blanco, y el calor producido por la combustion no es muy grande, así como tampoco lo es la expansion que se produce.

»Haciendo arder los gases explosivos dentro de un tubo de cristal de un cuarto de pulgada de diámetro y de un pié de longitud, trascurre más de un segundo ántes que la llama pase de un extremo á otro del tubo: en los que sólo tienen un sétimo de pulgada de diámetro, los gases explosivos no se incendian dentro, aunque estén en comunicacion con la atmósfera, y si los tubos son metálicos, evitan la explosion mejor que los de cristal.

»Fundado en esto construí una lámpara, provista, tanto encima como debajo de la luz, de tubos estrechos, y llevándola á una atmósfera explosiva, encontré que era de

seguridad; mas aunque los tubos fueran muy cortos y numerosos, la llama no lucia bien, se apagaba con facilidad, y ademas, cuando aquéllos tenian un diámetro mayor de un sétimo de pulgada, la lámpara era sólo segura si habia pequeñas cantidades de gases explosivos y éstos se presentaban con lentitud.

»Tal fué el punto de partida para ensayar tubos de diferentes formas y dimensiones, llegando á la siguiente conclusion: que una tela metálica, áun cuando sea muy fina, cuyas mallas dejen paso suficiente al aire y á la luz, ofrece una barrera completa á la circulacion de la llama, pues el calor que ésta desprende se reparte en un gran número de superficies frias. Así pude al fin establecer que rodeando enteramente una luz con una tela metálica, aunque se introduzca en una atmósfera explosiva, el interior podrá llenarse de llamas, pero no se comunicarán al exterior.

»Despues de multitud de experimentos encontré que una tela de hierro hecha de alambres de $\frac{1}{40}$ á $\frac{1}{60}$ de pulgada de diámetro, y conteniendo 28 alambres cruzados ó 784 aberturas por pulgada cuadrada, era completamente salvadora en cualquiera atmósfera, y adoptando, en consecuencia, semejante tela para cubrir las lámparas de las minas de carbon, la idea fué inmediatamente aceptada y puesta en práctica en Enero de 1816.»

Tales son las frases con que Davy dió á conocer su descubrimiento, y bueno será añadir que si no faltó quien le aconsejase asegurar los derechos de invencion de su lámpara con un privilegio, el gran descubridor rechazó la idea, diciendo: «Tengo suficiente para todas mis necesidades; mayor riqueza me daria mayores cuidados y me distraeria de los ensayos en que encuentro todos mis goces; y por otra

parte, el dinero no podria aumentar ni mi fama ni mi felicidad» (*).

La primera lámpara ideada por Davy se reducia á un cilindro de tela metálica, cerrado en una de sus bases por la misma tela, y con él se cubria una vela encendida rodeada por un pegote de arcilla, en donde se sujetaba perfectamente la malla, segun indica la figura 33.

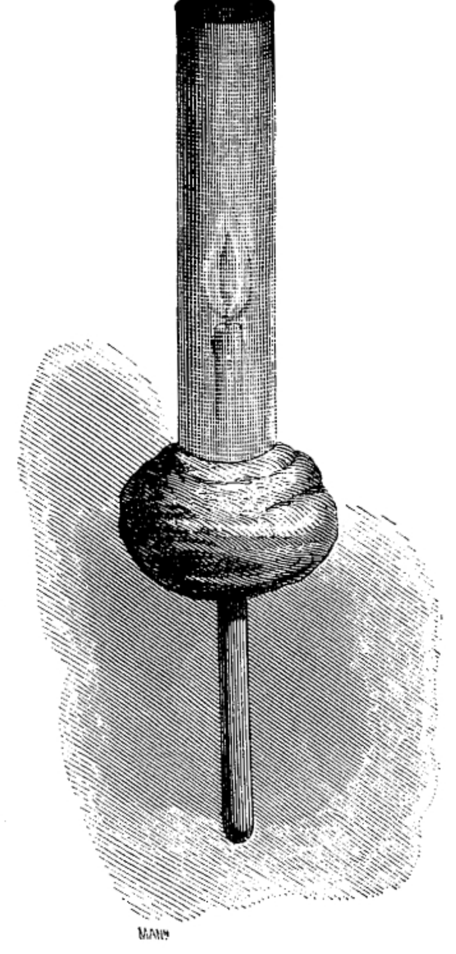


Fig. 33.

Esta disposicion subsistia aún en Setiembre de 1817, en que Davy, de vuelta de un viaje por Escocia, pasó por Newcastle. Un gran número de propietarios de minas de carbon en la localidad, y otras personas que habian tenido parte en la propaganda del descubrimiento, invitaron al ilustre sabio á una comida, cuya vajilla de plata le habia de ser regalada.

(*) Humphry Davy, que llegó á ser Baronet, Presidente de la Sociedad Real de Lóndres, miembro de las principales Academias de Europa y uno de los primeros químicos del mundo, nació en Peuzanze, pueblo de Cornouailles, en 17 de Diciembre de 1778. Quedando á los diez y ocho años sin padre, con cuatro hermanos y una madre á quienes salvar de la miseria, se colocó de practicante con un boticario, marchando despues á Bristol de ayudante del químico Bedres, descubriendo las propiedades del primero de los anestésicos, el óxido nitroso. Ya en Lóndres, y á los veintidos años, con sus explicaciones llamó extraordinariamente la atencion de los concurrentes á las sesiones del Instituto. Casado en 1812, en 1818 fué elevado á la dignidad de Baronet, y en 1820 reemplazó al célebre Banks en la Presidencia de la Sociedad Real. Sus estudios y trabajos gastaron su salud ántes de los cincuenta años, y pasó á Italia en 1828 buscando curacion; pero ya fué tarde, pues sucumbió en Génova en 29 de Mayo de 1829.

Al finalizar el banquete, Lord Durham, que presidia, se levantó y pronunció el siguiente discurso, dirigiéndose al célebre convidado:

«Sir Davy: Cumplo con el deber y el objeto de esta reunion presentándoos este obsequio que os ofrecen los propietarios del Tyne y del Wear, como un testimonio de su reconocimiento por el servicio que habeis hecho á la humanidad entera; vuestro genio, que trabaja hace largo tiempo en extender los horizontes de la química, jamas ha obtenido resultado más brillante ni triunfo más noble. Teniais que luchar con un elemento destructor, cuya fuerza parecia imposible contener, pues ponia á cada instante en peligro la existencia de los intrépidos mineros, y despues de haber luchado habeis vencido, y con ello aumentado la riqueza de una de las industrias más importantes, y lo que es áun mejor, habeis asegurado la vida de un número infinito de nuestros semejantes. Pronto hará dos años que vuestra lámpara se emplea por los mineros en los trabajos subterráneos más penosos de la tierra, y en todas partes se demuestra su bondad de una manera indudable. Hay que deplorar desgracias que proceden de la temeridad ó ignorancia con que muchas personas se sirven de vuestro aparato; pero semejantes accidentes, aunque terribles, léjos de disminuir el mérito de la invencion, sirven para poner más de relieve sus ventajas. Para ser inmortal vuestro nombre y bendecido en los futuros siglos, le bastaria este descubrimiento.»

«Señores, respondió Davy, siento me sea imposible contestar á la brillante y benévola alocucion de vuestro digno presidente, y es que la elocuencia y áun la elegancia de un discurso son incompatibles con las fuertes emociones semejantes á las que yo ahora experimento. Saber que mis

trabajos han sido útiles á la industria humana, y saberlo porque así me lo decis, es la mayor recompensa que puede desear un hombre cuyo más vehemente deseo es la utilidad de la ciencia. Saber tambien que mi descubrimiento ha contribuido á proteger la vida de hombres tan intrépidos como laboriosos, me proporciona el más vivo placer, ya que la mayor ambicion de mi vida es la de merecer el nombre de amigo de la humanidad. Me dais con un rico presente una prueba de estimacion, y yo no puedo hacer otra cosa sino débiles y vanos esfuerzos para daros las gracias. En todas las circunstancias de lo que me resta de vida el recuerdo de este dia hará latir vivamente mi corazon, y la noble expresion de vuestra bondad jamas podrá olvidarla mi reconocimiento.»

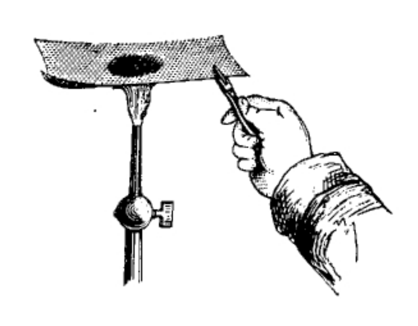
Ni este banquete, ni lo que en él se dijo, impidió, segun ya hemos manifestado, que algunos meses despues, en otra reunion no ménos importante, se reconociera con mayor justicia á Stephenson como el descubridor de la lámpara de seguridad.

Los experimentos de Davy, repetidos uno y otro dia, han dado lugar á explicar la accion de las telas metálicas sobre las llamas con más claridad que la simple idea del enfriamiento, y hé aquí cómo se expresa acerca de este particular el físico más notable de los tiempos modernos, John Tyndall:

Si toda la fuerza motriz de la bala de una carabina se comunicase á otra de cañon, apénas si se conseguiria un pequeño movimiento. Suponiendo que la bala de fusil pese 60 gramos y que alcance una velocidad de 500 metros por segundo, la fuerza de esta bala, trasmitida á otra de 60 kilógramos, sólo la imprimiria una velocidad de 0'5 metros

para igual tiempo. Un caso análogo sucederia con una llama, cuyo movimiento molecular es intensísimo, pero su peso extremadamente pequeño; si la fuerza que produce se aplicase á un cuerpo pesado, la intensidad de las vibraciones disminuiria considerablemente hasta que dejase de lucir.

Por ejemplo, fig. 34, si sobre un mechero de gas ardiendo colocamos una tela metálica de mallas suficientemente anchas para permitir sin dificultad el paso á un flúido cualquiera, pudiera creerse que la llama habia de cruzar á traves de la tela: lo contrario, sin embargo, es lo que sucede, y la combustion queda completamente limitada por bajo de la malla.



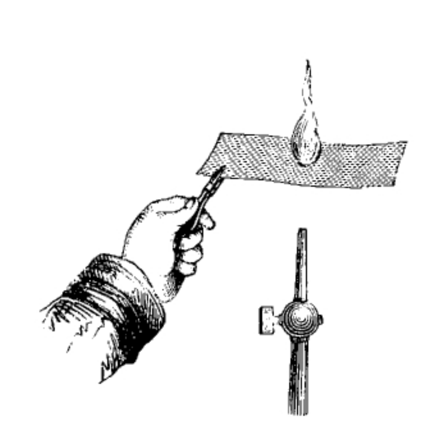


Fig. 34.

Si se apaga la luz, se deja salir la corriente de gas y se coloca la tela metálica á cierta distancia encima del mechero, el gas pasa libremente á traves de las mallas, y podrá encenderse por encima de la tela sin que la llama alcance al mechero. Entre éste y la tela queda un espacio oscuro, en el que circula el gas en condiciones eminentemente favorables para la ignicion, y sin embargo no se inflama, porque la tela metálica que le deja pasar intercepta la llama.

Consiste esto en que el calor desarrollado por la combustion del gas, ó sea el movimiento producido, pasa, al colocar la malla en contacto de la llama, desde una cosa tenue y apénas ponderable, á la tela de metal relativamente muy

pesada, con lo que la intensidad del movimiento molecular se debilita hasta hacerse impotente para propagar la combustion al otro lado de la tela.

Una teoría más completa que lo que acabamos de decir puede desarrollarse, como lo ha hecho Mr. Mallard, por consideraciones matemáticas, segun exponemos á continuacion.

Siempre que en una mezcla gaseosa se hallan elementos capaces de combinarse á una temperatura dada, si ésta se origina en la mezcla, se produce una inflamacion á dicha temperatura, que podrémos representar por T.

Un volúmen de esta mezcla de gases encerrado despues de la combinacion en una envolvente, no conductora del calor, adquirirá una temperatura, que llamarémos de combustion, y representamos por T'.

En un volúmen dado de la mezcla gaseosa, el calor se comunicará con una velocidad determinada, que llamarémos V.

Para reunir estos datos en ecuacion, supongamos que en un tubo suficientemente ancho, lleno de la mezcla gaseosa, provocamos una inflamacion, y considerando una zona Z, su temperatura, al verificarse la combustion, pasará súbitamente de T á T', miéntras que en una zona contigua Z', cuyo espesor llamarémos dl, la temperatura será todavía $T' - dT'$, correspondiendo la variacion de temperatura dT' á la de la distancia dl: podrémos, pues, decir

$$dT' = a\,dl,$$

siendo a constante durante todo el tiempo de la propagacion del calor.

Al cabo de un tiempo infinitamente pequeño, dt, la

temperatura de la zona Z' caldeada por la de la zona Z, aumentará en $d\,T'$ hasta hacerse igual á la temperatura de combustion, que entónces se verificará en la zona Z'.

Llamando v á la velocidad del caldeo originado en Z' por la influencia de la temperatura de Z, tendrémos

$$d\,T' = v\,d\,t,$$

é igualando los dos valores de $d\,T'$, será

$$a\,d\,l = v\,d\,t,$$

y observando que $\frac{d\,l}{d\,t}$ es la velocidad de la combustion, tendrémos:

$$\frac{d\,l}{d\,t} = V = \frac{v}{a}. \qquad [1]$$

Nos falta expresar v y a en funcion de los datos físicos del problema.

La velocidad v de caldeo de una zona gaseosa á la temperatura T por el contacto de otra zona á la temperatura T' no es conocida desde luégo, pero se puede admitir siguiendo la ley de Newton, que es proporcional á la diferencia $T' - T$, y por tanto

$$v = b\,(T' - T), \qquad [2]$$

siendo b un coeficiente variable con la naturaleza de la mezcla gaseosa.

Para determinar a admitirémos que desde la zona inflamada á la temperatura T hay dentro del cilindro una marcha constante en las temperaturas con la velocidad V.

Este cambio de temperaturas desde θ á T, suponiendo

que 0 sea la inicial de la mezcla, se puede comparar con la ley de variacion que para el aumento de temperatura se establece en una barra metálica, cuyos temples inicial y final sean 0 y T; y por tanto

$$\frac{dT}{dl} = a = c\,(T - 0), \qquad [3]$$

siendo c un coeficiente que depende de la naturaleza de las sustancias que se consideren, por lo que si suponemos identidad entre la columna de gases y la barra metálica, sería (*)

$$c = \sqrt{\frac{fp}{gs}},$$

en cuya fórmula p y s son el perímetro y la seccion de la columna gaseosa ó del tubo que la encierra, f un coeficiente funcion del poder calorífico del tubo, y g otro coeficiente en relacion con la facilidad de propagacion del calor en la mezcla gaseosa.

La combinacion de las tres ecuaciones [1], [2] y [3] nos da

$$V = \frac{b}{c} \cdot \frac{T' - T}{T - 0}, \qquad [4]$$

y reemplazando c por su valor será al fin

$$V = b\sqrt{\frac{g}{f}} \cdot \sqrt{\frac{s}{p}} \cdot \frac{T' - T}{T - 0}, \qquad [5]$$

fórmula en que el coeficiente $\sqrt{\frac{s}{p}}$ sólo depende de la for-

(*) Peclet, *Traité de la Chaleur*, Llivre VI, chap. II, p. 386, tome 1er.

ma del tubo, f de la naturaleza del gas y del tubo, y $b\sqrt{g}$ de la naturaleza del gas : si se tiene presente que exceptuando el hidrógeno, para los demas gases estas cantidades son casi constantes, llegarémos á establecer que en igualdad de circunstancias la razon de las velocidades con que se propaga la inflamacion de los gases es proporcional á $\frac{T'-T}{T-\theta}$ (*).

Puesto que Davy al hacer su gran descubrimiento observó que en un tubo estrecho lleno de una mezcla de gases detonantes no se propagaba la llama sino á una cierta distancia del orificio, funcion del diámetro, si consideramos que una tela metálica sea una reunion de tubos semejantes de pequeñísima seccion, para establecer la teoría matemática de la lámpara de seguridad bastará fijar la marcha de los gases producidos en el interior de la lámpara á traves de semejantes tubos.

Admitiendo un tubo suficientemente estrecho para suponer que el gas que encierre tenga una misma temperatura en una zona cualquiera, prescindiendo del enfriamiento por radiacion, si consideramos que en una zona haya una inflamacion á la temperatura T', llamando á su espesor dl, perderá en un tiempo dt, por su contacto con el tubo, una cantidad de calor, que se podrá expresar por

$$\beta p\, d l\, (T'-\theta)\, d t,$$

en donde β representa un coeficiente funcion del poder calorífico de la sustancia que forma el tubo,

p el perímetro de la seccion,

θ la temperatura inicial del tubo, ó mejor dicho, la tempe-

(*) Ya hemos indicado, pág. 67, cómo se ha determinado esta velocidad prácticamente.

ratura que adquiere despues de un cierto tiempo en que la mezcla gaseosa inflamada pasa por él.

Podemos ahora tener otra expresion del calor perdido por la zona supuesta, ya que si dT' es el descenso de temperatura producido por la pérdida de calor, ésta se representará por

$$-\delta k s\, dl\, dT';$$

siendo s la seccion del tubo,
δ la densidad de la mezcla gaseosa,
k el calor específico de la unidad de esta mezcla.

Igualando las dos expresiones halladas, será:

$$\beta p\, dl\,(T'-\theta)\, dt = -\delta k s\, dl\, dT',$$

y dividiendo por dl los dos miembros de la igualdad, y observando que si V es la velocidad de la combustion, $V = \frac{dl}{dt}$, de donde $dt = \frac{dl}{V}$, tendrémos

$$dl = -\frac{\delta k s}{\beta p} \cdot \frac{V}{T'-\theta}\, dT', \qquad [6]$$

y reemplazando V por su valor deducido de la fórmula [5], será

$$dl = -\frac{\delta k b}{\beta \sqrt{\frac{f}{g}}} \left(\frac{s}{p}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{1}{T-\theta} \cdot \frac{T'-T}{T'-\theta}\, dT'. \quad [7]$$

Llamando M á $-\frac{\delta k b}{\beta \sqrt{\frac{f}{g}}}$ é integrando, tendrémos:

$$\int dl = l = M \left(\frac{s}{p}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{T_0 - T'}{T-\theta} - \text{log. nep.}\ \frac{T_0-\theta}{T'-\theta}\right). \quad [8]$$

Esta ecuacion, en la que $T_\circ$ representa la temperatura de combustion teórica de una mezcla indefinida, fija la distancia l á que se halla del orificio de entrada la zona en que la combustion se verifica á una temperatura T'.

La zona del tubo en que la inflamacion cesará, se ha de hallar á una distancia del citado orificio, que podemos llamar L, y que se determinará sin más que hacer en la ecuacion anterior $T'=T$, lo que da:

$$L=M\left(\frac{s}{p}\right)^{\frac{3}{2}}\cdot\left(\frac{T_\circ-T}{T-0}-\text{log. nep.}\ \frac{T_\circ-0}{T-0}\right). \quad [9]$$

Si el tubo fuera circular y su radio r, sería

$$\left(\frac{s}{p}\right)^{\frac{3}{2}}=\left(\frac{r}{2}\right)^{\frac{3}{2}},$$

lo que indica que en igualdad de circunstancias L es proporcional á la potencia $\frac{3}{2}$ del radio del tubo.

Si la seccion del tubo fuera un cuadrado, que es lo que acontece en las telas metálicas, representando el lado por e, sería

$$\left(\frac{s}{p}\right)^{\frac{3}{2}}=\left(\frac{e}{4}\right)^{\frac{3}{2}},$$

y tambien en este caso L es proporcional á la potencia $\frac{3}{2}$ del lado cuadrado.

Si se admite que $\dfrac{T_\circ-T}{T-0}$ es una pequeña fraccion, cual sucede para una mezcla de aire ó hidrógeno carbonado, en que la temperatura de combustion es elevada y la velocidad de trasmision pequeña, observando que

$$\frac{T_\circ - \theta}{T - \theta} = 1 + \frac{T_\circ - T}{T - \theta},$$

podrémos desarrollar log. $\frac{T_\circ - \theta}{T - \theta}$, y concretándonos al segundo término del desarrollo, sería:

$$L = \frac{M}{2}\left(\frac{s}{p}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{T_\circ - T}{T - \theta}\right)^2. \qquad [10]$$

En condiciones generales iguales, L será sensiblemente proporcional al cuadrado de la velocidad de la combustion, medida en un tubo suficientemente ancho.

Así se explica por qué las telas metálicas que detienen la llama de una mezcla de aire y gas de los pantanos, cuya velocidad de combustion es inferior á 0^{m}'60 por segundo, no sirven para contener la de una mezcla de aire y gas del alumbrado, cuya velocidad de combustion llega á 1^{m}'20 en el mismo tiempo, y mucho ménos la de la mezcla de oxígeno é hidrógeno, cuya velocidad de combustion puede llegar, segun los experimentos de Bunsen, á 34 metros por segundo.

Hasta ahora hemos supuesto que la mezcla gaseosa se hallaba en reposo; pero considerando el caso en que tenga una velocidad de traslacion dentro del tubo igual V′, tendrémos que modificar la ecuacion diferencial, estableciendo

$$dt = \frac{dl}{V + V'},$$

é integrando será:

$$\int dl = l = M\left(\frac{s}{p}\right)^{\frac{3}{2}}\left(\frac{T_\circ - T'}{T - \theta} - \text{log. nep. } \frac{T_\circ - \theta}{T' - \theta}\right) - \frac{\delta k s}{\beta p} V' \text{ log. nep. } \frac{T_\circ - \theta}{T' - \theta}, \qquad [11]$$

y la longitud L', que dentro del tubo recorre la llama, se expresará haciendo como ántes $T'=T$ por

$$L'=M\left(\frac{s}{p}\right)^{\frac{3}{2}}.\left(\frac{T_0-T}{T-\theta}-\text{log. nep.}\frac{T_0-\theta}{T-\theta}\right)-\frac{\delta k s}{\beta p}V'\text{ log. nep.}\frac{T_0-\theta}{T-\theta}, \qquad [12]$$

y suponiendo tambien que $\frac{T_0-T}{T-\theta}$ es una cantidad pequeña, tendrémos la fórmula apróximada:

$$L'=\frac{M}{2}\left(\frac{s}{p}\right)^{\frac{3}{2}}.\left(\frac{T_0-T}{T-\theta}\right)^2+\frac{\delta k}{\beta}.\frac{s}{p}V'\frac{T_0-T}{T-\theta}. \qquad [13]$$

Si V' tiene importancia, el segundo término del segundo miembro de la ecuacion que acabamos de hallar es el dominante; despreciando el primero y refiriéndonos al valor de V, verémos que la longitud recorrida por la llama dentro del tubo bajo la influencia de la velocidad V' es proporcional á

$$N\left(\frac{s}{p}\right)^{\frac{3}{2}}V\,V',$$

en cuya fórmula N es un coeficiente en relacion con la naturaleza de los gases y la del tubo.

De aquí se deduce que una tela metálica que córte la llama del hidrógeno carbonado no apagará la del gas del alumbrado; pues siendo la velocidad de combustion de éste doble que la de aquél, sería necesario una tela cuyas aberturas estuvieran en relacion con las de la primera, como 1 es á 2.

Experimentos llevados á cabo han hecho ver que con una velocidad de 1^{m}'20 á 1^{m}'70 por segundo se consigue hacer

pasar la llama de una mezcla de aire y gas del alumbrado á traves de las telas metálicas ordinariamente usadas en las lámparas de minas, deduciéndose, por tanto, que para hacer pasar la llama del aire en mezcla con el hidrógeno carbonado bastará que la velocidad del cuerpo gaseoso esté comprendida entre 2^{m}'40 y 3^{m}'20 por segundo.

La Comision inglesa encargada de experimentar las lámparas Morison encontró por medios directos que con una velocidad de siete piés, ó sean 2^{m}'15, por segundo cruzaba la llama de los gases de las minas de hulla las telas metálicas ordinarias. Hay, pues, alguna diferencia entre unos y otros datos, pero de escaso valer, cuando se consideran las dificultades que se presentan al medir semejantes velocidades.

En resúmen, basta que la llama de una mezcla de aire é hidrógeno carbonado llegue á una tela metálica con una velocidad próximamente igual á 2^{m}'50, caso que, aunque accidental, puede presentarse en las minas, para que, cruzando la malla, la accion de ésta sea ineficaz.

CAPÍTULO III.

LÁMPARAS DE SEGURIDAD.

Lámparas de Davy.—Experimentos de Bischoff.—Deducciones interesantes.—Aditamento Chevremont.—Cierres de las lámparas.

Sentados los antecedentes expuestos en el capítulo anterior, pasemos á la descripcion de las lámparas de seguridad.

La de Davy, tal como al fin llegó á disponerla su autor, se compone, fig. 35, de tres partes principales: 1.ª, la candileja; 2.ª, la tela metálica que envuelve la llama; y 3.ª, la armadura.

La candileja ó depósito es cilíndrico y de mayor base que altura, á fin de que el aceite esté próximo á la extremidad encendida de la mecha y pueda alimentarla fácilmente, aunque se haya consumido casi todo. En la parte superior de la candileja hay una abertura circular de 0^{m}'020 de diámetro, que sirve para echar el aceite á la lámpara y está cubierta por la plancha horizontal que sostiene el mechero: concéntrico con éste hay un anillo metálico, cuya superficie interior es de tuerca.

Un tubo estrecho y soldado al fondo del depósito se eleva hasta encima de la placa del mechero, teniendo en su

interior una varilla bien ajustada, que sirve para despabilar la torcida, y puede manejarse desde la parte exterior de la candileja.

El mechero, cuyo diámetro es de 0^{m}'005, y su longitud de 0^{m}'030, es vertical y va soldado en el centro de la chapa que cubre el depósito de aceite.

La cubierta que rodea la llama está formada por una tela metálica ó malla de alambre de hierro, de cobre ó de laton, de 0^{m}'0003 de diámetro, tejido de manera que se obtengan 140 aberturas por centímetro cuadrado. Es dicha cubierta de forma casi cilíndrica y de 0^{m}'15 á 0^{m}'17 de altura; la base superior tiene 0^{m}'035 de diámetro, y la inferior 0^{m}'038, con lo que en realidad resulta un tronco de cono en disposicion de poder alzarse con facilidad de encima de la luz siempre que sea necesario.

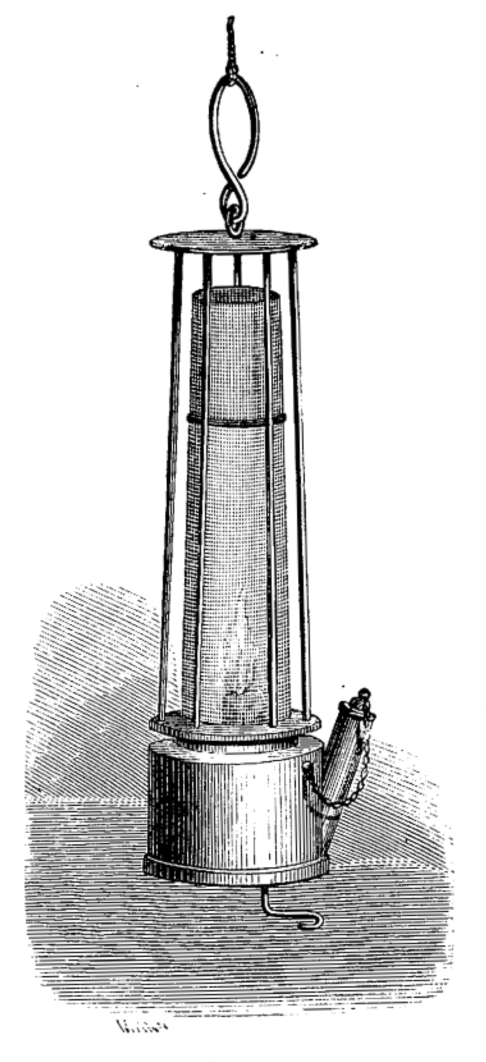


Fig. 35.

La parte superior de la malla metálica es la que estando sometida á mayor calor se estropea con más prontitud, y para salvar el peligro de una rotura se coloca en una extension de 0^{m}'04 otra cubierta de la misma tela ó de cobre laminado lleno de agujeros, cuyo diámetro es igual al de las mallas de la tela metálica.

Está constituida la armadura destinada á sostener la tela

metálica por cinco varillas de $0^{m}'06$ de diámetro y $0^{m}'18$ de longitud, fijas por la extremidad inferior en una corona casi en contacto con la candileja, y por la otra extremidad en una plancha bastante ancha y de forma circular, para que cubra toda la lámpara, preservándola perfectamente. De esta placa cuelga todo el aparato, mediante una anilla, en donde puede meter el dedo el operario cuando marcha, ó colgar la luz cuando es necesario.

El uso de las lámparas de Davy no presenta inconvenientes notables, siempre que se empleen con las precauciones necesarias; pero á fin de salvar el obstáculo de la poca luz que proporcionan, se han ensayado muchos procedimientos, y desde luégo ocurrió aumentar el diámetro de la malla metálica, y tambien multiplicar las aberturas del tejido, ya haciéndole ménos compacto, ya empleando en su fabricacion alambres más gruesos.

Hr. Bischoff, el sabio profesor de la Universidad de Bonn, que hemos citado ántes de ahora, hace unos cuarenta años que se propuso estudiar la influencia de los gases inflamables de las minas de hulla sobre las lámparas de seguridad de diversos diámetros y de telas metálicas más ó ménos espesas.

Llevó á cabo sus numerosos experimentos en la mina Gérhardt, en la cuenca de Saarbrück, disponiendo al efecto una excavacion de $4^{m}'30$ de altura, $1^{m}'50$ de largo y $1^{m}'00$ de ancho próximamente, lo que daba una capacidad de 6'45 metros cúbicos en un sitio donde se desprendian gases inflamables. Se prepararon seis clases de tela de alambre de laton, y de cada una de ellas se hicieron cinco cilindros de diferente diámetro, obteniendo treinta cubiertas de lámpara sucesivamente ensayadas.

El cuadro adjunto señala los diámetros y número de orificios por centímetro cuadrado que tenian las lámparas marcadas con los números 1 á 30.

Número de orificios por centímetro cuadrado.		LONGITUD DE LOS DIÁMETROS EXPRESADA EN MILÍMETROS.				
		40	46	56	60	79'5
57	Numeracion de las lámparas.	1	2	3	4	5
46		6	7	8	9	10
28		11	12	13	14	15
24		16	17	18	19	20
16		21	22	23	24	25
9		26	27	28	29	30

Los ensayos hechos, bajo la direccion de Hr. Bischoff, por Hr. Müller, dieron los resultados siguientes:

La lámpara número 1, introducida en la excavacion donde habia hidrógeno carbonado, se enrojeció bien pronto, y despues de diez minutos de permanecer en semejante atmósfera, subiéndola á la parte más alta, se apagó espontáneamente.

Otro tanto sucedió con la lámpara número 2.

La lámpara número 3 se enrojeció prontamente, y su temperatura creció áun más comunicándola un movimiento de rotacion. Antes de diez minutos la guita de que colgaba se quemó, y al caer la lámpara se apagó, pero sin producir explosion.

Enrojecióse desde luégo la lámpara número 4, apagándose con ruido á los cinco minutos, y estaba tan caliente al sacarla de la excavacion, que quemaba la mano.

Casi instantáneamente se enrojeció la señalada con el número 5, y al cabo de ocho minutos produjo una explosion.

Examinada la malla metálica, se vió que habia ardido en algunos puntos por haber estado candentes demasiado tiempo.

Las lámparas números 6 á 10, en ensayos que variaron de cinco y medio á ocho y medio minutos dentro de la mezcla explosiva, áun cuando se agitaron vivamente repetidas veces, no produjeron explosiones; pero al sacarlas al exterior hervia el aceite dentro de la candileja.

Poco despues de introducida en la atmósfera hidrogenada, se enrojeció la lámpara número 11, y áun cuando se hizo que girára rápidamente durante un minuto, despues de seis que llevaba de experimentacion, no produjo explosion alguna, apagándose al subirla cerca del techo de la excavacion.

Se apagó por sí sola, ántes de tres minutos, la lámpara número 12, prontamente enrojecida.

La lámpara número 13, enrojecida tambien muy pronto, permaneció dentro de la excavacion siete y medio minutos. La intensidad de la llama aumentó notablemente, desprendia chispas y se apagó sin explosion al imprimir al aparato un rápido movimiento.

Comunicó inmediatamente el incendio á la atmósfera en que se ensayaba la lámpara número 14.

Las demas lámparas dieron resultados de escaso valor.

Hr. Bischoff, ensayando ademas las lámparas usadas en la cuenca de Schaumbourg, cuyas telas metálicas tienen 93 aberturas por centímetro cuadrado, halló «que en ninguna circunstancia se puede conseguir pase la llama de las lámparas á traves de semejantes mallas.»

Resulta de los ensayos que acabamos de citar, que con 100 aberturas por centímetro cuadrado en la tela metálica de las lámparas se obtiene completa seguridad; pero bueno

será tomar como tipo las mallas de 120 á 140 aberturas, de que se hace generalmente uso en Inglaterra, Bélgica y los Estados-Unidos, ya que puede variar el momento de inflamacion de las mezclas que se encuentran en la atmósfera de las minas. Tambien puede deducirse de los experimentos de Bischoff que el aumento de diámetro en el cilindro de tela metálica disminuye la seguridad del aparato, y queda ademas comprobado que las lámparas de Davy no son de absoluta seguridad, pues bien se comprende que la malla obra calentándose más y más, y cesa de ser eficaz cuando su temperatura, por un contacto demasiado prolongado con la llama interior, llega á ser próximamente igual á la de la mezcla que arde en la lámpara.

Debe, pues, evitarse el tener el aparato en toda atmósfera donde el cilindro de tela metálica se llene de llamas, sacándole ántes de que éste se enrojezca y manteniéndole lo más bajo posible, pues ya sabemos que los gases explosivos, como más ligeros que el aire, se acumulan en la parte alta de las excavaciones. Debe tambien evitarse, en los casos en que es de temer una explosion, dar movimientos bruscos á los aparatos, pues pudiera así aumentarse la velocidad de salida de los gases inflamados, y éstos se presentarian en el exterior ántes de que estuvieran suficientemente frios.

Es, sin embargo, de seguridad la lámpara de Davy, partiendo del principio de que sirve para evitar una explosion en el momento en que los gases se ponen en contacto con la luz, ó sea en el caso de una invasion accidental de una mezcla detonante en la atmósfera en que luce el aparato; mas la seguridad cesa si se persiste en seguir trabajando en semejantes circunstancias y el obrero no se retira con las precauciones indicadas, tanto más, cuanto que sólo la

experiencia puede determinar las condiciones de cada uno de los casos en que la red metálica que rodea la luz conserva su accion refrigerante.

Para las mallas de las lámparas se emplea ordinariamente alambre de hierro de 5 á 6 décimos de milímetro de diámetro, que en sus sucesivos cruces da lugar á 121 aberturas por centímetro cuadrado.

Con un alambre de 5 diezmilímetros y 121 aberturas por centímetro cuadrado, desde luégo se comprende que hay en cada centímetro lineal $11 \times 0'5 = 5'5$ milímetros macizos, y por tanto 4'5 milímetros de vacío, y que teniendo en cuenta el cruzamiento de los hilos, las partes llenas ocupan en cada centímetro cuadrado una fraccion representada por 0'55 de centímetro, que hay maciza en cada fila vertical, más 0'55 de los 0'45 de vacío, que hay tambien llena en cada fila horizontal, es decir,

$$0'55 + 0'55 \times 0'45 = 0'7975$$

lo que indica que la malla metálica presenta próximamente las cuatro quintas partes de superficie macizas y una quinta parte vacía, que es por donde sólo puede pasar la luz. Cuando esta tela se coloca en una lámpara, no se pierde, sin embargo, $\frac{4}{5}$ de la luz total, porque las refracciones y la radiacion aumentan la claridad que sale al exterior; pero de todos modos la falta de luz es notable.

Tales son los principales inconvenientes y ventajas que presenta la lámpara de Davy, y ántes de que pasemos á señalar el modo de evitar los primeros y conservar las últimas, digamos que á M. Chevremont, ingeniero belga, se debe una adicion de utilidad indudable en la lámpara de

seguridad, aunque reducida á disponer alrededor de la mecha una serie de hilos de platino de 0m'003 de diámetro, torcidos en espiral. Con esta adicion, si la lámpara ha llegado á apagarse por exceso de hidrógeno carbonado en la atmósfera en que se trabajaba, los hilos de platino enrojecidos producen la luz suficiente para guiar al minero en su salida del paraje inficionado, evitándose las desgracias que pudieran ocurrir por falta de luz al retirarse del sitio en que la lámpara de seguridad se hubiera apagado.

Para evitar el que los obreros puedan abrir las lámparas, comprometiendo su vida y la de sus compañeros, se han ideado multitud de medios, siendo los más generales el de aplicar á la reunion de la armadura con la candileja un cierre de candado ó un vástago con tuerca que una las dos partes, y el cual sólo se puede destornillar, y por tanto abrir el aparato mediante una llave particular, que jamas se entrega á los obreros.

En las minas de hulla de Saint-Etienne, Mr. Williers, ingeniero director, imaginó un cierre para las lámparas de seguridad imposible de abrir por los mineros. Consiste en un cerrojo que se aloja dentro del aparato, reuniendo sus partes, y que despues de corrido sólo puede desecharse con ayuda de un fuerte iman, que al principio fué un electro-iman, excitado por una pila de bicromato potásico y ácido sulfúrico, cuyo manejo era muy incómodo. M. Chauselle, ingeniero jefe de la Sociedad explotadora de las minas, ideó sustituir la pila con una máquina magneto-eléctrica del sistema Gramme (*), y el resultado ha sido completamente satisfactorio; tanto, que hoy funcionan, no sólo en aquellas

(*) En la tercera parte de la Memoria describirémos estas máquinas.

minas, sino tambien en las de Monceaux, semejantes máquinas, que son de corriente contínua, iman permanente y pedal.

Para abrir las lámparas basta colocar la máquina sobre una mesa, de modo que el electro-iman se halle al frente, y el lamparista, sentado, la da movimiento con los piés, cual se hace con las de coser, quedándole las manos enteramente libres para manejar las lámparas y presentarlas ante el electro-iman que descorre los cerrojos que las cierran.

M. Aillot ha imaginado emplear un pasador de tornillo, que cierra con 1.200 vueltas, siendo imposible que el obrero tenga tiempo ni paciencia para soltarle, miéntras que en la lampistería, con un berbiquí de engranajes, se hace la operacion en pocos momentos.

Debemos áun citar las lámparas de los ingenieros belgas MM. Arnould y Dinan, cerradas las del primero con un marchamo de plomo, y las del segundo soldadas ántes de entregarse á los obreros, operacion no tan pesada como pudiera creerse, pues basta una hora para cerrar una centena, y pocos minutos para abrirlas, con auxilio de un soldador. Ademas, M. Olanier, de Saint-Etienne, emplea un apagador automático, que funciona al abrir el aparato, sistema análogo al del austriaco Hembach, en cuya lámpara penetra el aire á traves de telas metálicas sujetas en una virola, sita encima de la candileja, que no se puede separar del resto del aparato sin que se hunda la mecha y se apague la luz.

CAPÍTULO IV.

LÁMPARAS DE SEGURIDAD PERFECCIONADAS.

Inconvenientes de la lámpara de Davy.—Lámparas de Dubrulle, Roberts, E. du Mesnil y Mueseler.—Experimentos comparativos entre várias lámparas.—Aparato Combes.—Lámparas de Stephenson, Clanny, Tappan, Simons, Hislaire y Souheur.—Aparatos *Protector*.

La lámpara de Davy tiene, segun hemos indicado, el inconveniente de dar poca luz, sobre todo en lo alto de los tajos, lo que puede ser causa de desgracias, tal vez evitables, si se hubiera podido observar el peligro de un hundimiento; y es tambien de poca luz en sentido horizontal, por la malla que intercepta una parte notable de los rayos luminosos, tanto más, cuanto que los hollines y el polvo del carbon la entrapan con frecuencia. Ademas, como las telas metálicas pueden dejar pasar las mezclas explosivas incendiadas cuando su velocidad excede de cierto límite, y tambien como por un choque cualquiera el tejido se deforma, si no se rompe enteramente, el aparato resulta en muchos casos ineficaz para el objeto á que se destina.

Estos inconvenientes de la lámpara de Davy se han tratado de corregir, y muchos inventores han presentado

aparatos más ó ménos prácticos, siendo los que han conseguido mejores resultados: Roberts, du Mesnil, Mueseler, Hislaire, Clanny y Tappan, de cuyos aparatos hablarémos á su tiempo con todo detalle, y sólo dirémos ahora que en todos ellos el objetivo á que se aspira se resume en los tres puntos siguientes:

1.º Hacer la lámpara de seguridad más luminosa, reemplazando en cierta porcion la tela metálica por un cuerpo trasparente, como el vidrio, el cristal ó la mica, en condiciones las más adecuadas de resistencia y colocacion para evitar el choque y la destruccion que pudieran ocasionarse al tropezar contra un cuerpo extraño.

2.º Sustraer la llama del aparato en todo lo posible á las corrientes de aire, para lo que se dispone la entrada del que ha de alimentar la lámpara y la salida de los productos de la combustion por puntos determinados, á fin de conseguir corrientes fuertemente acusadas, que con dificultad pueda alterar el viento del exterior, que tampoco debe alcanzar fácilmente la zona donde brilla la luz.

3.º Disminuir las causas de caldeo de la malla disponiendo la entrada directa del aire hasta el contacto con la llama, donde verificándose la combustion de los gases explosivos, si los hay, quede alrededor y en contacto con la tela metálica que cubre la lámpara una masa de gases quemados, y por tanto ménos calientes que cuando la combustion es general dentro del cilindro preservador y en contacto con él.

Complemento de una buena disposicion en las lámparas debe ser el disponer la malla á cierta distancia de la candileja, para evitar que con el aceite y el polvo del carbon se forme una especie de pasta, que no sólo obstruye la tela

metálica, impidiendo el paso de la luz y del aire necesario á la combustion, sino que semejante pasta puede incendiarse interiormente y comunicar la llama al exterior.

Resumiendo, los defectos que hay que corregir son: falta de luz, peligro de corrientes de aire externo, y temor del caldeo excesivo de la tela metálica.

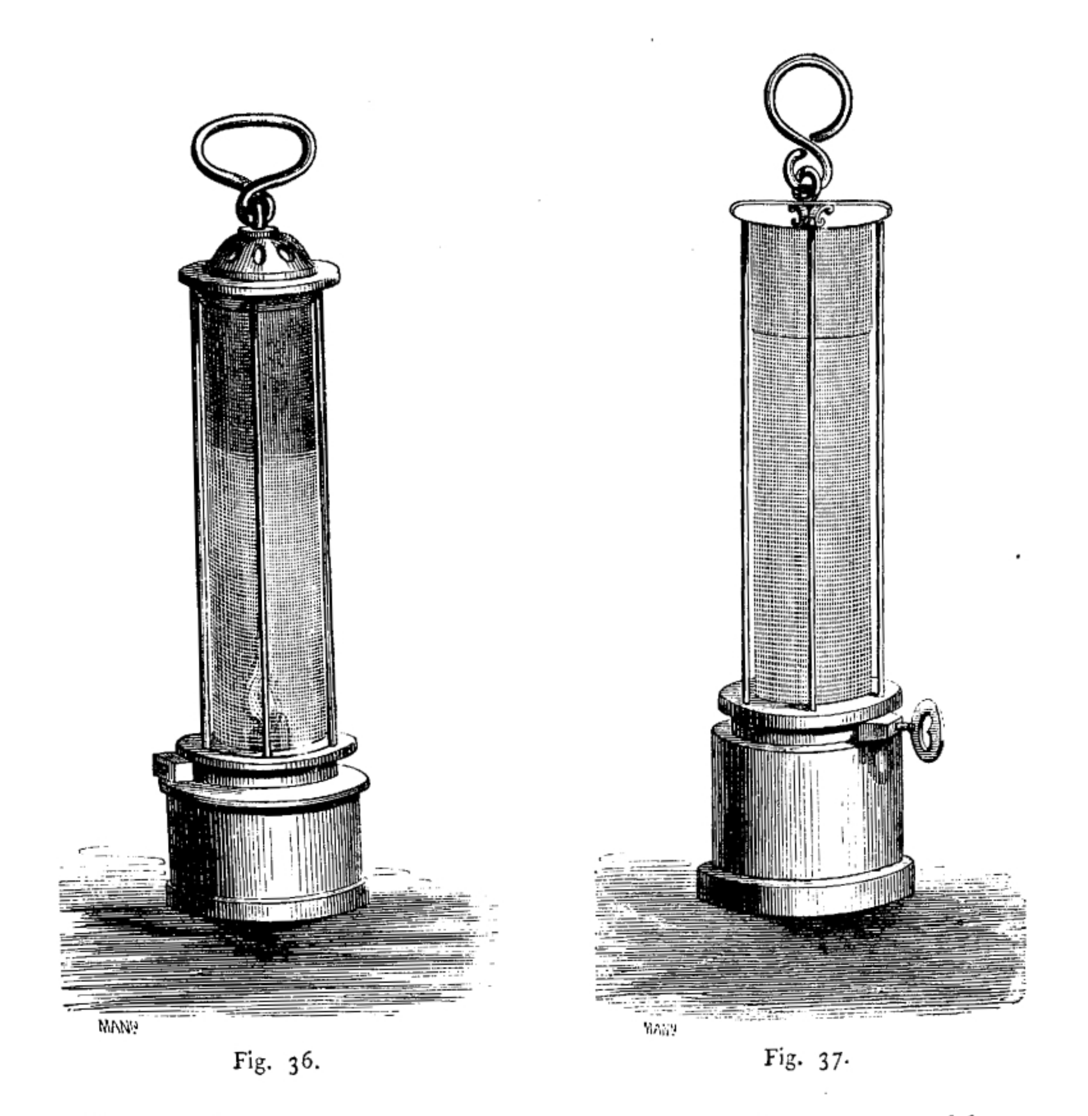


Fig. 36. Fig. 37.

Hasta ahora tales inconvenientes no se han corregido por completo; así es que la lámpara de Davy se prefiere todavía en muchas ocasiones á los aparatos más modernos, que despues indicarémos, con tanto mayor motivo, cuanto que el primitivo reune, á una gran resistencia, un mínimum de peso, precio y volúmen.

Así en Inglaterra, en el Yorkshire, es de un uso general la lámpara que representa la fig. 36, cuya forma se aproxima mucho al tipo antiguo, que áun se conserva hoy en algunas minas del Wear y que señala la fig. 37.

En otras localidades son de uso general las lámparas de Davy, cuyos diferentes tipos representamos en las figu-

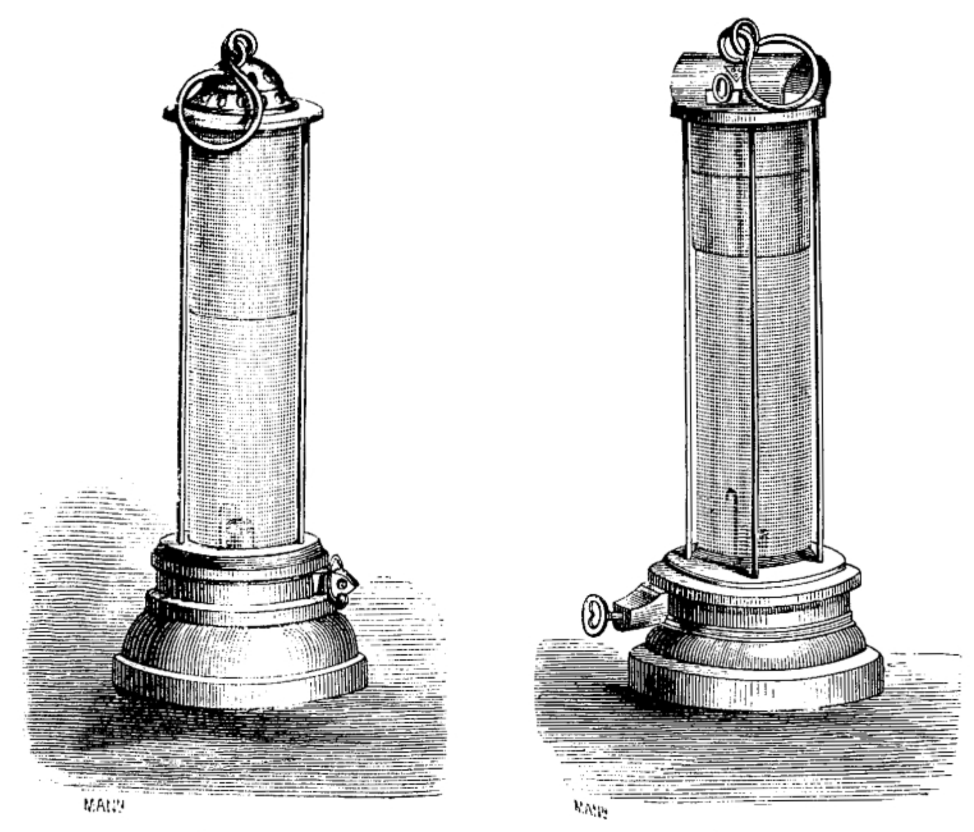


Fig. 38. Fig. 39.

ras 38, 39 y 40. Aparatos que llevan el nombre de lámparas de Newcastle, y que se diferencian entre sí principalmente en la forma de la candileja y en el sistema de cierre.

La serie de trasformaciones que ha sufrido la lámpara de Davy han hecho perder de vista más de una vez sus condiciones esenciales, separándose, ya de las dimensiones prescritas para el diámetro de la cubierta metálica, ya del

número de aberturas que debe tener ésta en una superficie dada.

M. Dubrulle, lamparista de Lille, ha inventado una lámpara para minas que tiene el doble mérito de conservar las dimensiones normales y presentar modificaciones de verdadera importancia, principalmente en la construccion del mechero y en el sistema de cierre.

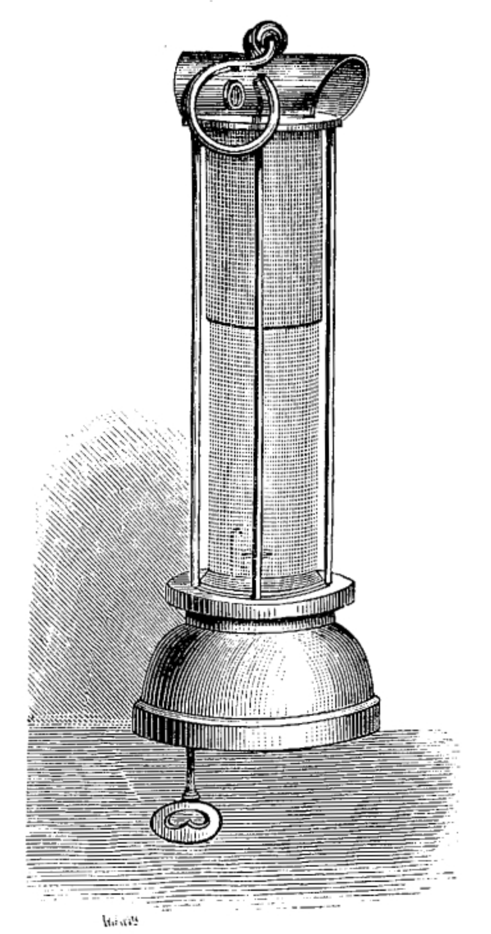


Fig. 40.

La mecha es plana y bien calibrada, y se mueve con ayuda de un tornillo, para que sin necesidad de destapar la lámpara avance cuanto se quiera, quemando perfectamente el aceite, con lo que se consigue á igualdad de gasto mayor poder luminoso. Un atizador lateral completa el sistema inherente al mechero, y la lámpara puede arder once horas seguidas sin disminucion notable de luz. La figura 41 da idea de todos los detalles de la lámpara, cuyo cierre se obtiene mediante un pasador, sobre el cual actúa un resorte en espiral, de tal manera que el aparato, una vez cerrado, no se puede abrir sin bajar al mismo tiempo la tuerca, que simultáneamente gobierna el mechero *a b c*, de tal modo que al abrir la lámpara necesariamente se apaga.

Lleva la tela metálica *M* en la parte superior, y dentro del cilindro un *parallamas*, que evita la destruccion de la malla.

Los numerosos ensayos hechos en las minas de Anzin han justificado la superioridad de la lámpara Dubrulle sobre el modelo Davy, y sobre todo, respecto á las lámparas modificadas que se usan en un gran número de explotaciones francesas.

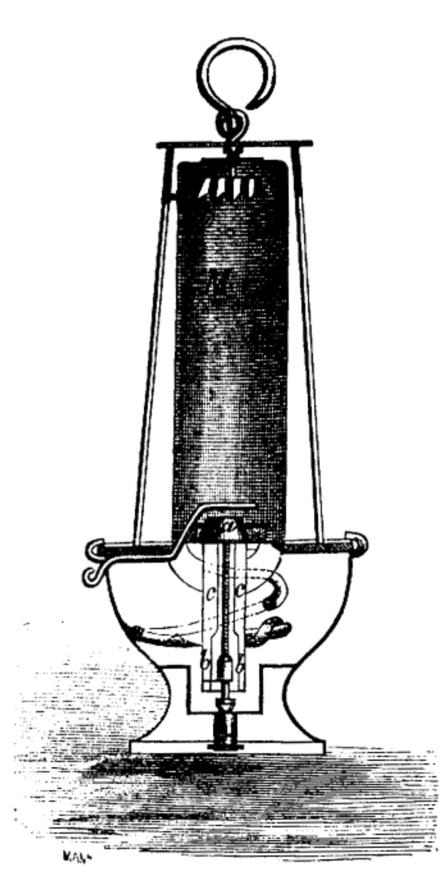


Fig. 41.

Justificarémos lo dicho haciendo un extracto del informe presentado á la Academia de Ciencias de Lille por una comision encargada de llevar á cabo ensayos comparativos con la lámpara Dubrulle y la de Davy.

Ésta contiene ordinariamente 127 gramos de aceite; vacía pesa 654 gramos, y llena, 781; su torcida es redonda, constituida por diez y seis hebras de algodon, de 0^{m}'20 de longitud, y se atiza con auxilio de un gancho de alambre grueso.

La lámpara Dubrulle lleva 112 gramos de aceite, que quema en catorce horas; pesa vacía 620 gramos, y llena 732; la mecha es plana y tejida, moviéndose con auxilio de una llave.

Pesando las dos lámparas de hora en hora, despues que estaban luciendo, en el cuadro siguiente se consigna, para cada una de ellas, el gasto de aceite, tanto el que podemos llamar parcial por referirse á tiempos determinados y sucesivos, como el consumo general que al fin se reprodujo en los dos aparatos.

Duracion de la llama.	CANTIDAD DE ACEITE QUEMADO POR HORA.	
	Lámpara de Davy.	Lámpara de Dubrulle.
Una hora.	7 gramos.	9 gramos.
2 »	9 »	8 »
3 »	6 »	8 »
4 »	8'95 »	7'98 »
5 »	7 »	6'98 »
6 »	7 »	7'95 »
7 »	7 »	6'95 »
8 »	» »	7 »
9 »	» »	7 »
10 »	» »	6'50 »
11 »	» »	6'50 »
Suma. . . .	51'95 en 7 horas.	81'86 en 11 horas.

La lámpara de Davy ardió con llama igual durante las tres primeras horas; en las dos siguientes fué necesario atizar con frecuencia la torcida, y en las últimas horas se hizo indispensable, para conservar una claridad uniforme, despabilar cada diez minutos. A las siete horas la torcida habia ardido completamente y la lámpara se apagó, áun cuando tenía algun aceite, del que consumió $7^{gr.}$'42, como término medio, por hora.

En las seis primeras horas ardió la lámpara de Dubrulle con luz igual, y en las cinco siguientes se hizo necesario subir la mecha un milímetro próximamente, que fué la porcion que se carbonizó. Despues de once horas de observacion ardia perfectamente, y pudiera haber seguido dos horas más en las mismas circunstancias, sin ninguna dificultad, habiendo consumido $7^{gr.}$'44 de aceite por hora, y un milímetro de mecha.

Comparando la luz de las dos lámparas, se dedujo que la de Dubrulle ilumina próximamente el doble que la de

Davy, recien despabilada, y la mitad que una bujía de estearina; debiéndose la diferencia á que con mecha el aceite se quema completamente en la lámpara de Dubrulle, miéntras que con la torcida de la lámpara de Davy se origina un humo abundante, indicio cierto de una combustion incompleta.

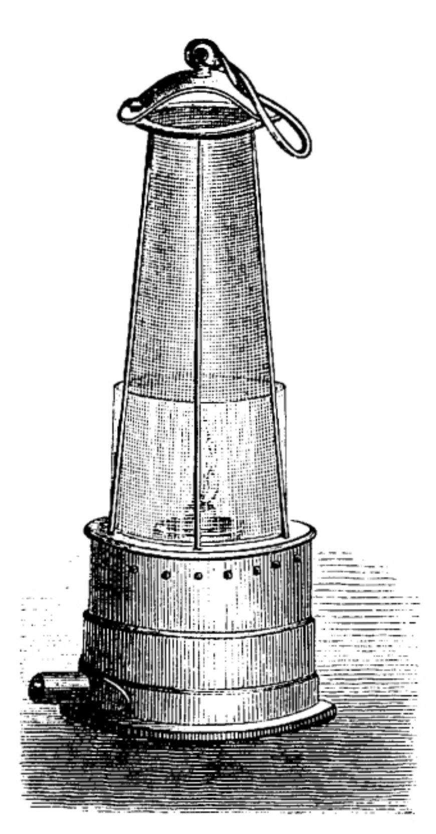


Fig. 42.

Respecto al grado de seguridad de las lámparas, en nada aventajó la una á la otra; y esto se comprende bien, pues que depende de las condiciones de la tela metálica, que eran idénticas para los dos aparatos ensayados.

Una de las modificaciones más racionales entre las numerosas de la lámpara de Davy, que se presentaron á la Comision nombrada por la Cámara de los Comunes en 1838, con objeto de emitir dictámen acerca del trabajo de los mineros ingleses, fué la de Roberts, que se diferencia, fig. 42, de la de Davy: 1.º, en que el cilindro de malla está rodeado desde la base hasta un tercio próximamente de su altura por un tubo de cristal bien sujeto á la candileja; 2.º, porque el aire penetra en la lámpara á traves de una serie de aberturas, sitas en la base del aparato, cruzando dos telas metálicas sobrepuestas, que evitan la comunicacion de los gases del interior de la lámpara con la atmósfera; 3.º, en que el aire, despues de atravesar las telas





metálicas, se dirige hasta rasar con la torcida mediante una pieza de forma tronco-cónica, cuya base mayor le recoge al entrar por lo más ancho de la armadura para que salga alrededor de la torcida por la corona existente entre el mechero y la base menor del tronco de cono.

Con estas disposiciones la lámpara luce mejor, y quedando separado el aire puro del contacto de la malla, hay dentro de la lámpara una zona de gases impropios para trasmitir una inflamacion, pues que son el producto de la combustion de la lámpara.

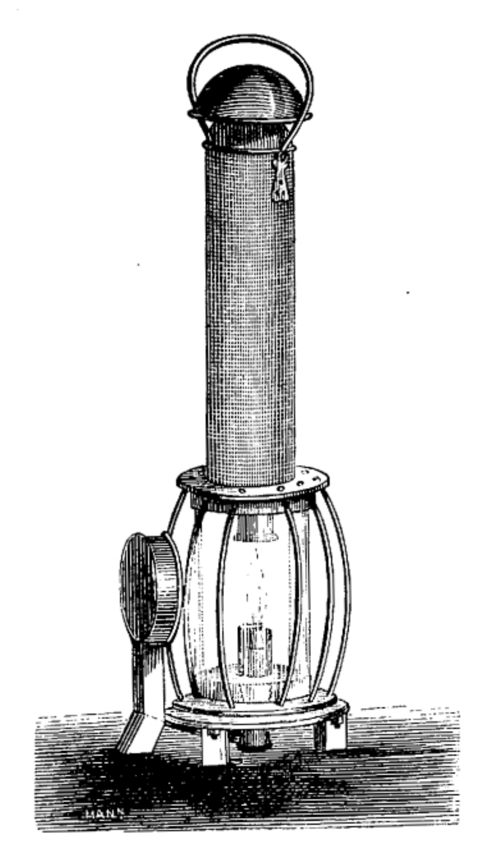


Fig. 43.

Es casi absoluta la seguridad de este aparato; mas su adopcion no se ha generalizado, porque la luz que produce es áun menor que la de una lámpara ordinaria de Davy, como se comprende desde luégo, ya que lleva ademas de la malla un tubo grueso de cristal.

Mr. E. du Mesnil presentó en 1839 á la Academia de Ciencias de París una lámpara de seguridad, que representamos en la fig. 43.

En esta lámpara el cilindro de tela metálica está enteramente sustituido por un tubo de cristal grueso y recocido. El depósito de aceite es lateral como en las lámparas de reflector ordinarias, y alimenta una mecha plana de algodon. El aire llega á ésta para verificar la combustion por dos conductos de forma cónica, tapados junto á la

mecha por una doble malla de cobre con 500 aberturas por centímetro cuadrado. Estas telas metálicas pueden renovarse con facilidad cuando se estropean. La parte superior de la lámpara está constituida por una chimenea metálica de pequeño diámetro y formada por dos tubos, uno de los cuales baja dentro del cilindro de cristal para aumentar el tiro, miéntras que la cubierta externa se cierra en la parte superior, dejando únicamente abierto un orificio por donde salgan los productos de la combustion, y en donde, dada la accion de la corriente, es innecesario emplear telas metálicas.

La lámpara está perfectamente sujeta con una armadura general y tiene una altura de 0^{m}'40.

Este aparato presenta sobre la lámpara de Davy la ventaja de alumbrar mucho mejor, y parece que el temor de una rotura en el tubo de cristal es ménos inminente de lo que pudiera creerse, dada la disposicion de la armadura que le sostiene y protege.

La lámpara Mueseler, tan ventajosamente considerada, que el Gobierno belga la ha impuesto como obligatoria para todas las minas de hulla en que se presenten gases inflamables, la representamos en la fig. 44.

Tiene la forma general y próximamente las dimensiones de la lámpara de Davy, de la que difiere: 1.°, por tener cristal; 2.°, por estar provista de una chimenea colocada en el interior de la malla, encima de la llama, y á una distancia que á veces se puede variar, haciéndola subir ó bajar dentro del anillo que la sostiene; 3.°, por tener un diafragma horizontal de tela metálica por cima de la luz, y rodeando el anillo que sujeta la chimenea.

Con estas modificaciones el aire para la combustion entra

lateralmente por la malla, cruza el diafragma y baja hasta la mecha, miéntras que los gases de la combustion suben por la chimenea central, saliendo por la parte superior.

De esta manera la lámpara alumbra mucho mejor que la de Davy, está casi exenta de la accion de las corrientes de aire, y en el caso de una atmósfera detonante, la inflamacion que se verifica en contacto con la luz difícilmente pasa del diafragma; ademas los gases calientes que provienen de la combustion circulan por la chimenea central, apagándose ántes de salir, con cuyas circunstancias la malla no está expuesta á enrojecerse.

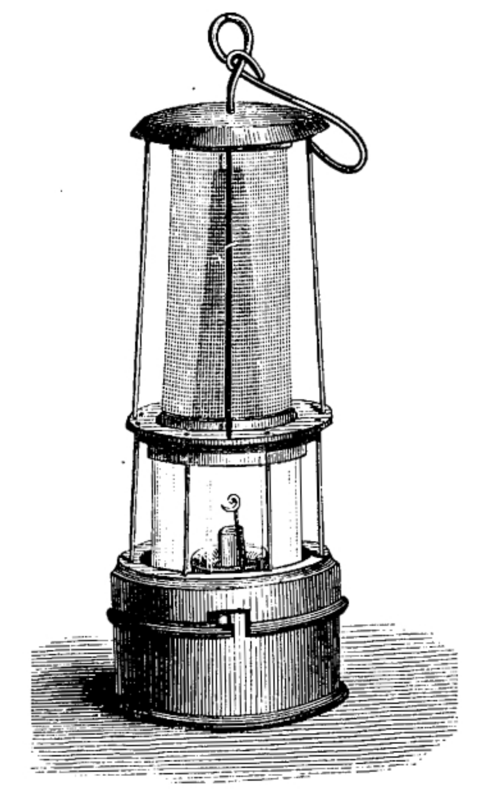


Fig. 44.

El principal inconveniente del aparato, que algunos de sus partidarios presentan como una ventaja más, estriba en la gran facilidad con que la lámpara se apaga en ciertas circunstancias.

Puede apagarse, por ejemplo, si se lleva á donde haya una fuerte corriente de aire ascendente, cual se encuentra á veces en los pozos que sirven para la ventilacion de las minas. Consiste esto en que la marcha del viento se verifica en sentido contrario á la que lleva el aire dentro de la lámpara para surtir la luz, y ésta se extingue por falta de oxígeno suficiente para la combustion.

Se apaga tambien la lámpara si se inclina demasiado, pues entónces la chimenea no recoge todos los productos de la combustion, que repartiéndose por el interior de la lámpara, y

uniéndose con el aire fresco que pasa á traves del diafragma, forman pronto una mezcla no comburente que ahoga la luz.

Aun en la posicion vertical se extingue tambien la luz cuando la atmósfera es explosiva ó bastante inflamable para aumentar la llama hasta llenar el tubo de cristal, pues la chimenea no puede recoger todos los productos oxidados, y se produce el fenómeno del caso anterior.

Los partidarios de la lámpara sostienen que en el último caso citado la sensibilidad de la lámpara al apagarse es una garantía más para el obrero. Aun concediendo que sea esto una ventaja, la imperfeccion del aparato es notable en los dos casos primeramente considerados, y tanto es así, que cuando hay que trabajar con la brújula, como el aparato no se puede inclinar para leer en el limbo, hay que emplear otra lámpara de depósito lateral y fondo trasparente, á traves del cual pase la luz para hacer la lectura.

De todos modos, la lámpara Mueseler presta hoy servicios indudables y que no se pueden negar.

En el mes de Agosto de 1838 una Comision nombrada por el Gobierno belga verificó diversos experimentos para determinar la mejor lámpara para minas, y del informe que llegó á darse extractamos lo que sigue:

1.º Colocada una vela encendida dentro de una caja donde se hace llegar una mezcla de hidrógenos carbonados y aire atmosférico, se produce siempre una explosion.

2.º Metiendo en la caja una lámpara de Davy, la llama demuestra con sus variaciones la existencia del gas hidrogenado; pero nunca se comunica la combustion al exterior del aparato.

3.º Rompiendo la malla de la lámpara hasta conseguir aberturas de cinco milímetros á una altura mínima sobre el

mechero de siete centímetros, la llama no se propaga al exterior, por más que se note una verdadera perturbacion en la manera de arder, pues parece que la luz gira dentro de la malla; sólo en dos ocasiones se han visto salir por las aberturas hechas, dardos luminosos de medio centímetro de longitud, que se apagaron pronto, «probablemente, dijo la Comision, por la gran cantidad de ácido carbónico producido dentro de la lámpara, que ahoga la llama al salir por el mismo agujero.»

Si la rotura de la malla está á la altura de la mecha, áun cuando sólo tenga dos milímetros de seccion, la luz se propaga al exterior de la lámpara y la explosion consiguiente se produce, verificándose mucho más pronto cuando se dirige sobre la luz una corriente de gases explosivos.

Todas estas pruebas se ejecutaron con mezclas de aire atmosférico y gas del alumbrado, y con lámparas cuyas mallas tenian ciento cuarenta y cuatro aberturas por centímetro cuadrado, producidas por el cruce de alambres de 0'28 de milímetro de grueso, con lo que resultaban $\frac{5}{9}$ de superficie maciza y $\frac{4}{9}$ de vacío.

La lámpara de Davy, ensayada dentro de una mezcla de aire é hidrógeno puro, deja pasar la llama áun cuando su malla tenga doscientas quince aberturas en centímetro cuadrado en lugar de ciento veinte que lleva ordinariamente.

La lámpara Roberts, desprovista del tubo de cristal, dió los resultados siguientes:

1.° En la mezcla de hidrógeno carbonado y aire atmosférico, produce una explosion fácil de comprender, pues que su tela metálica es de aberturas bastante grandes.

2.° La lámpara con cristal se opone á la detonacion de la

mezcla de hidrógeno puro y aire atmosférico, apagándose despues de cierto tiempo.

La lámpara de E. du Mesnil dió resultados contradictorios en los primeros ensayos, por lo que repetidos éstos en la fábrica de gas de Lieja, se comprobó:

1.º Que con mezclas de aire y gas del alumbrado ó de aire é hidrógeno, la lámpara en sus condiciones ordinarias no trasmite al exterior la inflamacion producida por la llama, áun privada de la caperuza que cubre la chimenea.

2.º En idénticas mezclas, y empleando una chimenea de sólo quince centímetros de longitud en vez de los veinte que tiene de ordinario, el aparato es completamente seguro si se construye con esmero.

La lámpara Mueseler, ensayada al mismo tiempo que las anteriores, dió los resultados que á continuacion expresamos:

1.º Impide toda explosion, cualesquiera que sean las mezclas en que se introduce, si bien cuando la proporcion de hidrógeno carbonado es excesiva, la lámpara se apaga, porque despues que aumenta momentáneamente la actividad de la combustion, resulta un gran volúmen de gases quemados, una parte de los cuales se mezcla con la corriente de aire que entra en la lámpara, haciéndole impropio para la combustion.

2.º Quitando á la lámpara la malla superior, tampoco produce explosion alguna, lo que no puede explicarse sino porque una parte de los productos de la combustion se mezcla, alrededor de la chimenea, con el aire y el hidrógeno que llegan á la luz, consiguiendo hacer inexplosible la mezcla.

Resumiendo la Comision sus trabajos, dedujo las consecuencias siguientes:

1.ª La lámpara de Davy no es completamente segura en las mezclas de gases inflamables, y basta una corriente fuerte de aire, que con facilidad puede producirse en una mina, para privar al aparato de todas sus ventajas.

2.ª La lámpara Roberts es de seguridad completa, tanto en las atmósferas explosibles como donde hay corrientes de aire, pues el tubo de cristal la libra de ellas; deberá, pues, preferirse á la de Davy, por más que tambien tenga el inconveniente de que se obstruyen fácilmente las aberturas de las telas metálicas, al traves de las cuales pasa el aire para la combustion, por la masa que se forma con el polvo del carbon y el aceite que por una ú otra causa sale siempre de las lámparas. Su complicacion, mayor peso y volúmen y precio, cuatro veces mayor que el de una lámpara de Davy, están compensados por la seguridad que proporciona.

3.ª La lámpara de E. du Mesnil es de dudosos resultados.

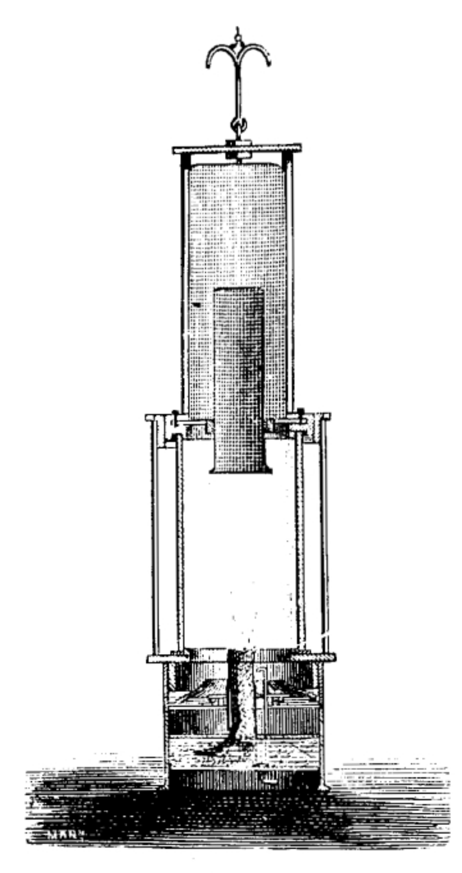
4.ª La lámpara Mueseler presenta una notable reforma, y consiste en hacer llegar por arriba, y no por abajo, el aire destinado á alimentar la combustion, con lo que se salva, apagándose la lámpara, toda explosion; y aunque se necesita bastante cuidado para usarla, en relacion con el peso y volúmen del aparato, la luz que proporciona llega á ser doble que la de una lámpara de Davy.

5.ª Todos los aparatos, pues, tienen defectos y ventajas que deberán corregirse ó aprovecharse en uno nuevo de iluminacion subterránea, tal como lo comprende la teoría.

El célebre ingeniero frances M. Combes trató de reunir las ventajas particulares de las tres lámparas, Roberts, du Mesnil y Mueseler, en un aparato que no tuviera los

inconvenientes de éstos. La figura 45 representa la lámpara modificada.

El depósito de aceite es de forma análoga á los de las lámparas de Davy. Está coronado por un reborde cilíndrico con una serie de agujeros circulares, por dónde ha de penetrar el aire necesario á la combustion, atravesando dos telas metálicas de doscientas aberturas por centímetro cuadrado, sostenidas, lo mismo que el mechero, por una tuerca central.


Fig. 45.

Un tronco de cono interior y de poca altura conduce el aire que ha atravesado las telas metálicas al centro de la lámpara en donde arde la mecha.

Esta pieza cónica queda sujeta por la armadura superior del aparato, constituida por seis varillas verticales unidas á dos coronas, de las que la inferior se afirma atornillándola en el recipiente, y entre las dos contienen un tubo de cristal.

Todas estas disposiciones están copiadas de la lámpara de Roberts. Se completa el aparato de Combes con una chimenea cilíndrica de tela metálica protegida por cuatro varillas verticales, y descansa en un reborde que se atornilla en la corona superior de las dos que sostienen el tubo de cristal, impidiendo el movimiento de éste.

Dentro del reborde en que apoya la malla se extiende un diafragma de tela metálica, que en su centro lleva un tubo,

que penetrando dentro del de cristal, sirve de chimenea y activa el tiro aspirando el aire que penetra en la lámpara por los agujeros circulares colocados junto al recipiente del aceite.

En esta lámpara, cuya disposicion en la chimenea se parece á la de Mueseler, hay la ventaja de que el tubo interior no tiene que bajar gran cosa dentro del cilindro de cristal, con lo que se evita la pérdida de luz que ocasiona la chimenea del aparato belga, y se salva el inconveniente de apagarse con facilidad, como desde luégo se comprende dada la marcha del aire dentro de la lámpara.

Las dimensiones principales de la lámpara de Combes son las siguientes:

	Milímetros.
Diámetro interior del tubo de cristal.	55
Espesor del mismo.	6
Altura.	110
Diámetro del tubo chimenea.	25
Longitud del mismo.	95
Altura total de la lámpara.	270

Con estas dimensiones la lámpara puede trasportarse fácilmente, y como no se apaga áun cuando haya corrientes de aire ó abunden los gases explosivos, es preferible á los aparatos ántes citados.

La lámpara Stephenson, que representamos en la figura 46, tiene disposiciones semejantes á la de Davy, pero en el interior lleva el tubo de cristal que Roberts colocó despues por la parte exterior.

Entre las mejores lámparas de seguridad ocupa un lugar preferente la de Clanny, muy usada en las minas de carbon de Inglaterra y los Estados-Unidos, siempre que se trata de

explotar capas de mucho espesor y hay gran abundancia de gases, en cuyas circunstancias la lámpara de Davy no es la más conveniente, tanto por escasez de luz, como por la exposicion de que dé paso á la llama á traves de la tela metálica, lo cual, ya hemos dicho, es imposible cuando hay un tubo de cristal.

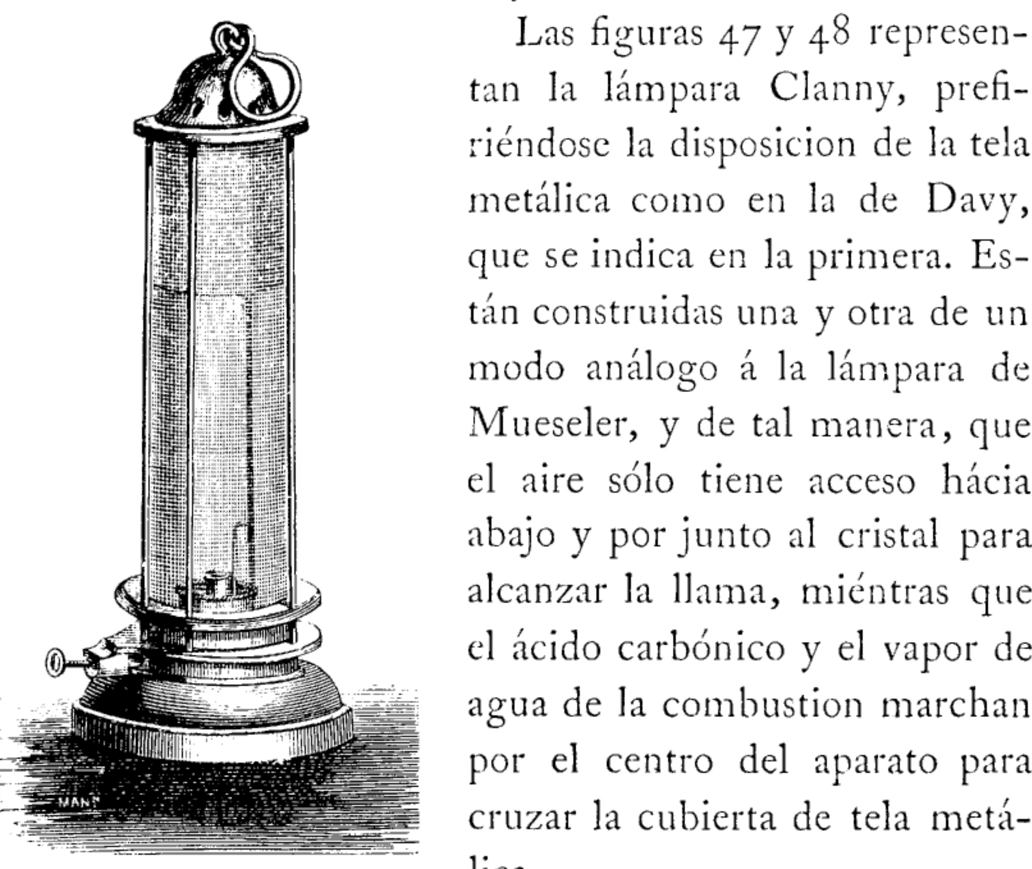


Fig. 46.

Las figuras 47 y 48 representan la lámpara Clanny, prefiriéndose la disposicion de la tela metálica como en la de Davy, que se indica en la primera. Están construidas una y otra de un modo análogo á la lámpara de Mueseler, y de tal manera, que el aire sólo tiene acceso hácia abajo y por junto al cristal para alcanzar la llama, miéntras que el ácido carbónico y el vapor de agua de la combustion marchan por el centro del aparato para cruzar la cubierta de tela metálica.

La lámpara de Clanny es generalmente de laton y malla de hierro, mas los capataces é ingenieros usan la lámpara de cobre con tela de laton y cristales de color rojo ó verde, con lo cual, al mismo tiempo que cuando se ha de trabajar con la brújula no hay accion magnética apreciable, se hacen mejor las observaciones y se dispone de señales en los subterráneos.

En los Estados-Unidos va generalizándose el uso de la lámpara Clanny con una modificacion ideada por B. Tappan,

que sustituye el tubo de vidrio del aparato por otro hecho con una hoja de mica que, conservando la misma trasparencia para la llama, tiene la ventaja de no saltar ni rajarse por un exceso de calor ni un repentino enfriamiento, cual sucede á veces con los tubos de vidrio ó cristal.

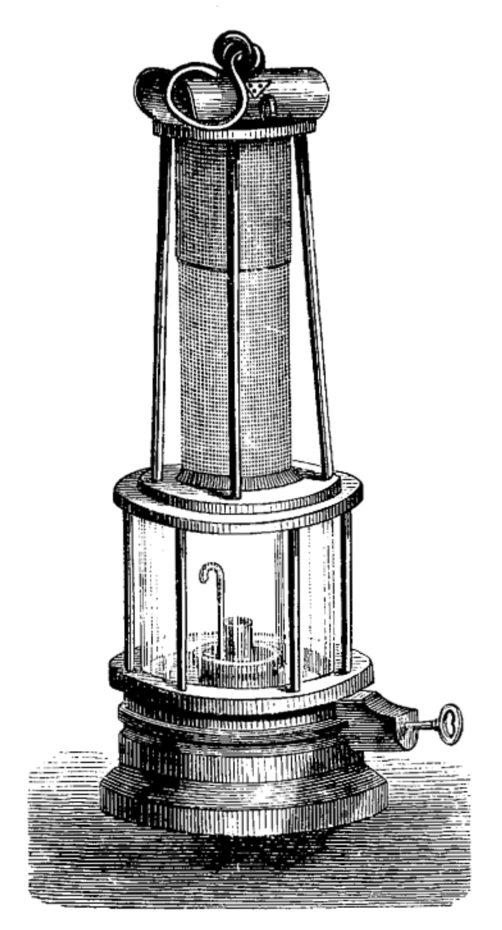


Fig. 47.

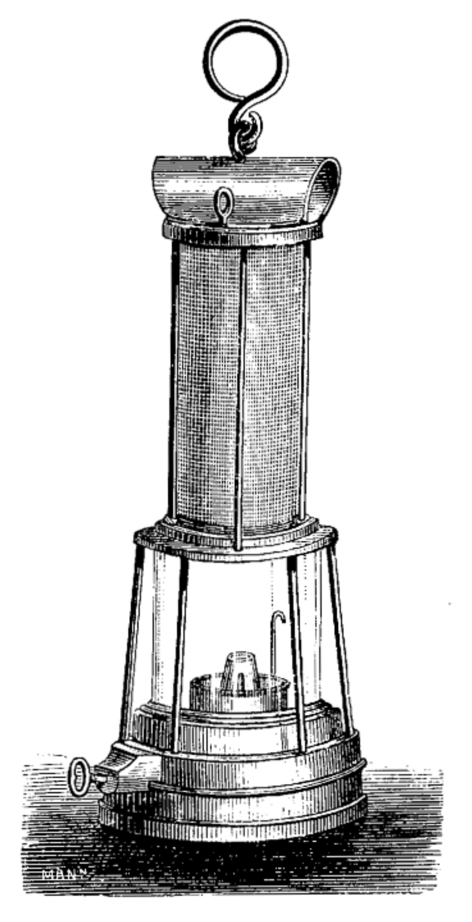


Fig. 48.

La lámpara Simons, conservando los cilindros de tela metálica ideados por Davy, tiene una disposicion más ventajosa para alumbrar bien. Está representada en la figura 49.

El depósito de aceite es lateral y contenido entre dos cilindros concéntricos, que forman la base de la lámpara, sin llegar á cerrar completamente, pues que dejan una zona en donde se coloca un cristal para que salga la luz, sirviendo la parte interior del depósito como reflector. Una doble

malla impide por la parte superior de la lámpara la propagacion de toda inflamacion al exterior, y áun todavía con un disco de mica colocado en el copete de la primera tela metálica se evita que la temperatura de ésta se eleve demasiado, haciendo imposible se enrojezca la cubierta exterior. El aire para la combustion penetra por el fondo á traves de telas metálicas muy espesas, y la lámpara puede arder durante ocho horas, sin necesidad de ningun cuidado, despues que ha sido bien acondicionada y puesta en las manos del minero.

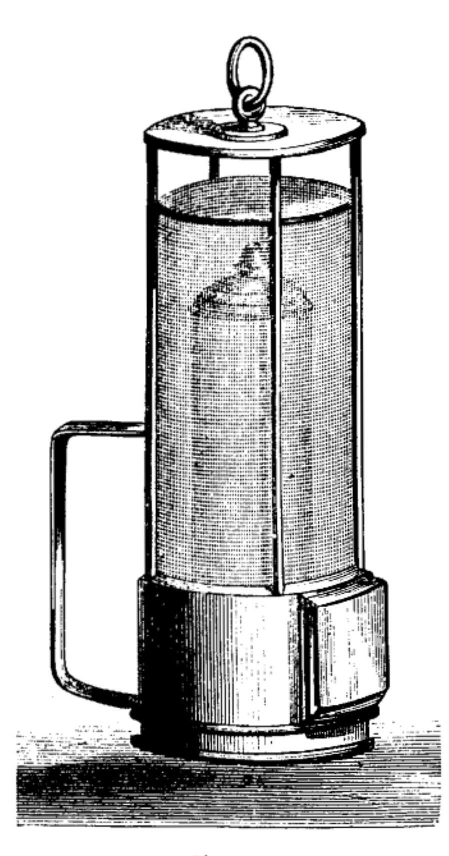


Fig. 49.

Esta lámpara, susceptible de llevarse en la mano con comodidad ó de colgarse en las enmaderaciones, tiene ménos volúmen que la ordinaria de Davy, reune todas las ventajas de los aparatos más perfeccionados y de mayor tamaño, y ha sido adoptada en algunas minas de Inglaterra. Da una luz casi igual á la de una bujía de esperma, y está cerrada con llave.

Debemos citar la lámpara del ingeniero belga A. Hislaire, que, semejante en la forma y disposicion á la de Mueseler, se diferencia de ésta en que el tubo de cristal, en vez de ser cilíndrico, es en forma de cono truncado, viniendo la base menor al contacto de la chimenea y dejando sólo una estrecha corona entre los dos para el paso del aire, con lo que resulta que la lámpara puede inclinarse sin que se apague;

resiste las corrientes de aire ascendente, y ofrece por lo ménos igual seguridad que el aparato tipo.

Digamos aún que M. Souheur, de Lieja, ideó en 1876 sustituir el aceite de la lámpara de Mueseler con el petróleo, y para ello el combustible, en vez de llevarse suelto en el depósito, va empapando una esponja en donde se apoya la mecha, que, como en cualquier aparato donde se quema aceite mineral, apénas se carboniza, con lo cual se evita el atizarla, pues la luz es brillante y de igual altura durante doce horas. La llama parece que indica perfectamente la existencia del hidrógeno carbonado, y como el polvo de carbon se adhiere ménos al vidrio por estar seco y el mechero sirve de reflector, la potencia luminosa de la lámpara es superior á la de aceite, habiendo ademas la ventaja de realizar una economía en los gastos de iluminacion, que no baja de un 60 por 100. A pesar de estas ventajas, el aparato no se ha generalizado por la repugnancia que la Administracion belga tiene en admitir para el alumbrado de las minas los aceites minerales.

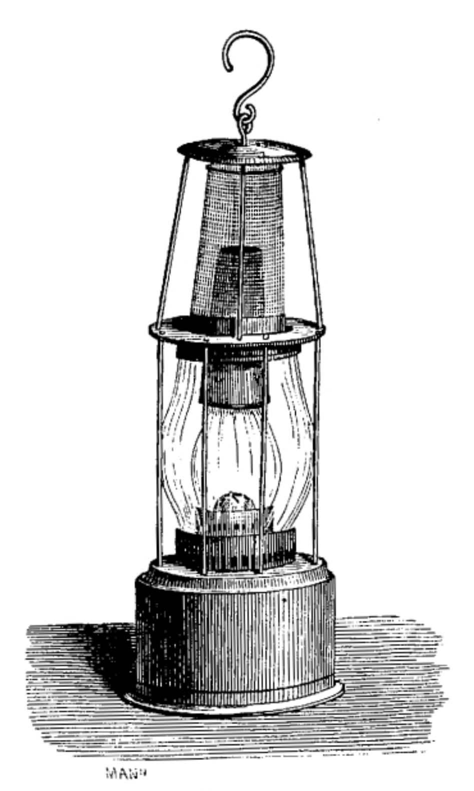


Fig. 50.

El conjunto del aparato de M. Souheur se representa en la fig. 50, y como se ve, es de mecha plana, llevando dos vidrios de forma análoga á los que se emplean en los quinqués ordinarios de petróleo, aunque el exterior puede ser sencillamente cilíndrico. El tubo interior desemboca en una

chimenea de palastro, colocada como en la lámpara de Mueseler; pero la entrada del aire se verifica por la virola inferior, disposicion necesaria en todos los aparatos que quemen petróleo, pues siendo éste una sustancia muy rica en carbon, necesita gran cantidad de aire para arder sin humo.

Aquí cabe nombrar tambien la lámpara de Canevaile, para petróleo, que apénas se diferencia de la que acabamos de citar.

Hace pocos años que en Inglaterra se ha empezado á generalizar en las lámparas de seguridad un sistema de cierre especial, que unido á la disposicion de los mecheros y á la clase de combustible que se emplea, forman un sistema, al que se ha dado el nombre de *Protector*, que puede aplicarse á cualquier clase de lámparas mineras.

Hé quí lo que acerca de este sistema se puede leer en la *Milland and Northern Coal and Iron trades Gazette:* «Nada tiene mayor interes, para los mineros de una cuenca carbonífera en que hay más ó ménos cantidad de gases inflamables, que una verdadera lámpara de seguridad. Desde que se usaba el fósforo de Canton ó el molinete de acero, y despues se aplicaron las lámparas de Stephenson y de Davy, hasta el dia, muchos esfuerzos se han hecho para mejorar el alumbrado minero, pero sin éxito las más veces. La lámpara de que hoy vamos á dar cuenta (22 de Noviembre de 1876) se distingue con la denominacion de *Protector*, y desde el mes de Agosto de 1871, en que fué ensayada en Oaks Collieries por su autor Mr. W. E. Teale, se ha ido generalizando por su seguridad y luz excelente en las minas más abundantes de gases inflamables, conocidas entre los mineros con el nombre de *Fiery Collieries.*»

Acerca de estas lámparas, el reputado periódico *Colliery Guardian*, de 29 de Marzo de 1875, dió las siguientes noticias, hablando de una exposicion verificada en Brusélas por aquel tiempo:

«En la seccion inglesa, y en la clase 6.ª, la *Protector Lamp and Lighting Company de Manchester* ha expuesto una co-

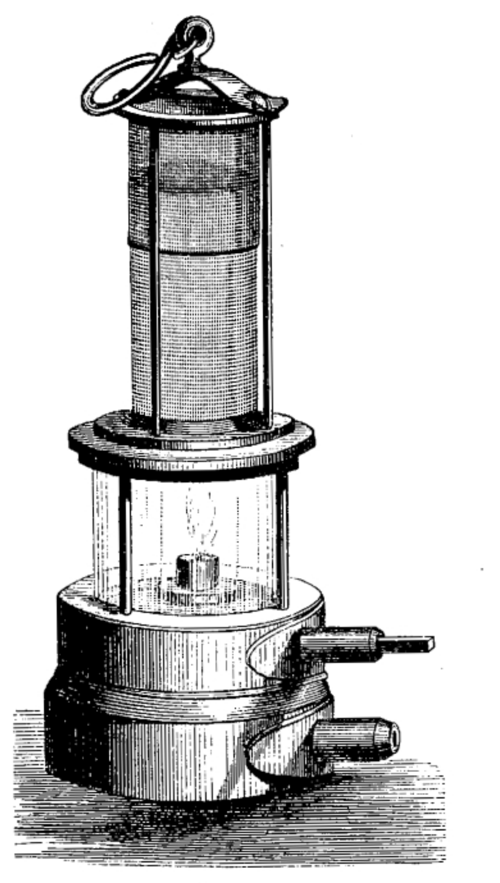


Fig. 51.

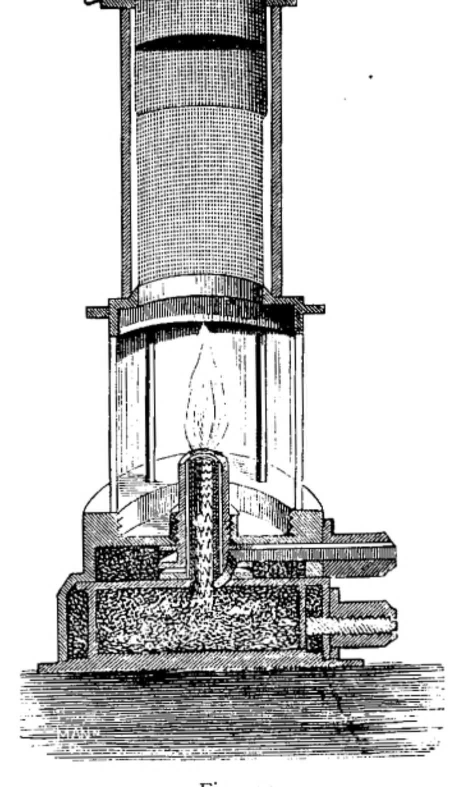


Fig. 52.

leccion completa de lámparas de seguridad, recibiendo por ello la única recompensa concedida por el Jurado á esta clase de aparatos. La coleccion constaba de 70 lámparas de muy variados tipos, todas perfectamente concluidas y fundidas en bronce. Tomarémos, para describir estas lámparas, una del sistema Clanny, representada con los detalles suficientes, pues lo que respecto á ésta digamos es aplicable para cualquiera otra. (Véanse las figuras 51, 52, 53, 54 y 55.)

»La figura 51 representa la parte superior de la lámpara; la 52 es un córte de todo el aparato; la 53, la parte inferior ó depósito; la 54 indica el tubo apaga-luces, y la 55, el pasador ó cerroio, que por su disposicion cuando se mete dentro de la lámpara, se adapta perfectamente al apagador, impidiendo que salga con el mechero cuando éste se destornilla.

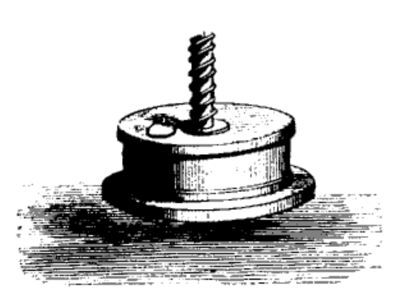


Fig. 53.

»La lámpara lleva un tubo de vidrio sólidamente ajustado á una placa tambien de vidrio, provista, en una abertura central, de una hembra, por donde pasa el tornillo del tubo apagador. Este lleva en su interior una rosca de espiras muy gruesas, en donde se aloja el mechero señalado en la figura 53, y en esta misma se puede ver la planchuela giratoria que tapa la abertura por donde se echa el líquido combustible.

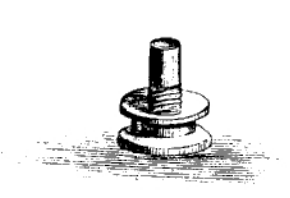


Fig. 54.

»El depósito ó candileja encierra una esponja, que se humedece con *colzalina*, teniendo cuidado de vaciar el líquido sobrante. La esponja dura tanto como la lámpara, dada la naturaleza del aceite empleado, y en ella se apoya una mecha permanente de algodon, que, á pesar de que es raro se queme, puede reemplazarse siempre que se desea.

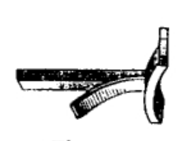


Fig. 55.

»Cuando se arregla y enciende la lámpara, despues de colocado el apagador en el mechero, se atornilla éste en la hembra del vidrio; y la pieza que representa la fig. 55, que pudiéramos llamar cerrojo, que está alojada en el tubo lateral superior, y en la disposicion que indica la fig. 52, se empuja hasta sujetar el apagador. Así que la

extremidad del muelle del cerrojo pasa del anillo de la lámpara, se alza é impide pueda sacarse si no se destornilla la candileja; pero al hacer esta operacion, como el apagador está sujeto con el cerrojo, el mechero camina dentro del apagador, y la luz se extingue necesariamente, falta de aire. En esta disposicion es en lo que estriba la seguridad protectora del aparato.

»La lámpara lleva tambien el cierre ordinario de tornillo, más para cumplir con la ley que por ser necesario, pues no hay mejor cierre para una lámpara de seguridad que un apagador.»

Es tambien característico de los aparatos *Protector* la naturaleza del cuerpo combustible que se emplea, al que se ha dado el nombre de *colzalina*, y es un aceite mineral purificado de excelentes condiciones.

Segun un análisis fotométrico hecho por Mr. Thomas Harrison, de Manchester, esta sustancia tiene un 30 por 100 de poder luminoso más que el aceite comun, su combustion es completa, y el precio próximamente la mitad, reuniendo con la ventaja de mayor luz y limpieza una notable economía en los gastos de alumbrado, que puede hacerse próximamente por la tercera parte de lo que en general cuesta hoy.

La perfecta combustion del líquido evita el humo y el depósito de hollines en la tela metálica, y ademas, como no hay aceite suelto en las lámparas, éstas no se engrasan, y por tanto no se adhiere el polvo del carbon, por cuya circunstancia se conserva limpia la malla, evitando pierda nada de sus propiedades conductoras para el calor, y por tanto aumentando la seguridad del aparato.

Las lámparas *Protector* han sido sometidas por personas

competentes á las pruebas más rigurosas, y los resultados han sido completamente satisfactorios.

En resúmen, en las lámparas *Protector,* cuya candileja está calculada de modo que pueden arder doce horas consecutivas sin cuidado alguno, hay la seguridad de saber que no se puede abrir el aparato sin que se apague; y como la tela metálica no se entrapa con los hollines, la colzalina da al minero luz más intensa que el mejor aceite de colza, y en la llama se revela con más prontitud y claridad la presencia de los gases inflamables, hay superioridad conocida, con más la ventaja del menor gasto.

CAPÍTULO V.

CONDICIONES ECONÓMICAS.

Limpieza de las mallas.—Poder luminoso de las lámparas de seguridad.—Precio de las lámparas.—Combustibles que se emplean.—Valor y consumo de los mismos.

Todas las lámparas, sea cualquiera el sistema á que pertenezcan, cuando se distribuyan á los mineros, deben estar corrientes, encendidas y cerradas: cada obrero debe asegurarse del buen estado y perfecto cierre del aparato, pues á la salida del trabajo deberá pagar una multa en caso de que aquél aparezca inutilizado intencionalmente, ó sufrir un castigo mayor si el mismo se presentase abierto.

Toda lámpara en que la tela metálica tenga el menor defecto, lo que se comprueba fácilmente mirando la malla á la luz del dia, debe inmediatamente ser compuesta, pues la destruccion de algunos hilos bastaria, como sabemos, para producir una explosion, tanto más probable, si en los subterráneos abunda el polvo de carbon, pues como multitud de experimentos recientes lo comprueban, aquella sustancia favorece la inflamacion de los gases que se encuentran en los minados.

A la salida de la mina la malla de las lámparas general-

mente está sucia, ya por el polvo del carbon, ya por el aceite y los hollines del mismo aparato: se limpia éste por dos procedimientos distintos.

Consiste el primero en caldear las telas metálicas en una mufla á una temperatura suficiente para hacer arder todas las materias grasas y carbonosas. Despues se lavan las mallas con un cepillo fuerte y agua, consiguiéndose así una excelente limpieza, si bien el tamiz metálico se estropea rápidamente por la oxidacion.

Por el segundo procedimiento se meten las mallas en una disolucion alcalina, ó sólo en agua de jabon, con lo que se consigue disolver los cuerpos grasos, concluyendo el lavado con un cepillo y agua pura ó ligeramente caliza, y secando despues las telas en una estufa á baja temperatura.

Se han construido aparatos que facilitan y abrevian mucho todas estas manipulaciones, obrando automáticamente, y con resultados utilísimos en aquellas minas importantes donde diariamente, y en el intervalo de una á otra entrada, hay que lavar, examinar con escrupulosidad y aviar centenares de lámparas.

Tomando por unidad la luz de una bujía de esperma que consuma 7,775 gramos por hora, despues de ensayos muy minuciosos y comparativos, se ha visto que la luz que dan las lámparas de seguridad es:

Davy con aceite comun			0'180
Dubrulle id. id.			0'250
Robberts y Stephenson id. id.			0'144
Clanny, Mesnil y Mueseler id. id.			0'296
Davy Protector con colzalina.			0'329
Stephenson	id.	id.	0'296
Mueseler	id.	id.	0'710
Clanny	id.	id.	0'829
Souheur con petróleo.			1'250

ó lo que es lo mismo, para tener una luz igual á la de una bujía de esperma tipo, se necesitan próximamente:

7	lámparas	Roberts y Stephenson	con aceite	comun.
5 1/2	id.	Davy	id.	id.
4	id.	Dubrulle	id.	id.
3 1/2	id.	Clanny, Mesnil y Mueseler	id.	id.
3 1/2	id.	Stephenson	Protector	con colzalina.
3	id.	Davy	id.	id.
1 1/2	id.	Mueseler	id.	id.
1 1/5	id.	Clanny	id.	id.
4/5	id.	Souheur con petróleo.		

El precio de una lámpara de Davy ordinaria es de tres pesetas, costando las que hemos señalado con el nombre de Newcastle unos cincuenta céntimos más cada una. La lámpara Yorkshire cuesta cuatro pesetas, y poco más ó ménos lo mismo la lámpara Dubrulle. Todas ellas exigen candado ó llave, que cuesta sesenta céntimos, pero miéntras el primero acompaña á cada una de las lámparas, con una sola de las segundas se puede atender á una multitud de aparatos.

Las lámparas Stephenson modificadas por Joseph Cooke, cuya cámara tiene dispuestos todos los pasos para el aire, de tal modo que el polvo del carbon no puede acumularse fácilmente, y en caso necesario se quita con un cepillo, miéntras que ántes era necesario usar un punzon, con lo cual se abrian cada vez más los agujeros, pudiendo producir el paso de la llama, junto con la incomodidad de repasar más de cien aberturas que tiene la lámpara, es la más luminosa en su clase y de más sólida construccion que se emplea en Inglaterra, y cuesta cinco pesetas.

La lámpara Simons y la de Du Mesnil vienen á tener igual precio, unas seis pesetas; pero en caso necesario debe preferirse la primera.

Comprando la lámpara Mueseler por docenas se vende á cinco pesetas cada aparato, ademas de exigir por la llave correspondiente 60 céntimos de peseta.

El aparato Combes, aunque no se ha generalizado, por más que sus ventajas sean incuestionables, no alcanzaria un precio muy superior á los de Mueseler.

Las lámparas Clanny cuestan seis pesetas, y la docena de cristales para las mismas vale cinco: si se quieren cristales de color, cuesta cada uno dos pesetas. Para los capataces é ingenieros las lámparas de cobre con tela de laton cuestan siete pesetas, y hay algunas niqueladas que suben á nueve pesetas.

Apénas varian en precio de las de Clanny las lámparas ordinarias de Tappan, pero las de petróleo de este autor, lo mismo que las de Souheur, valen una peseta más.

Por fin, los aparatos *Protector*, de cualquier tipo, tienen un sobreprecio de 2,50 pesetas.

Las mejores lámparas inglesas se encuentran en casa de los fabricantes J. Cooke and Co., Birmingham, y John Gardner and Sons, 453, Strand, Lóndres. Los aparatos Mueseler deben adquirirse de la casa Mulkay frères, Outre-Meuse Liège, Bélgica, y los *Protector* y la colzalina que éstos necesitan, los facilita la *Protector* Lamp and Lighting Co., 10, Marsden Street, Manchester.

Tambien se construyen en Francia lámparas de seguridad, pero deben preferirse las inglesas ó las belgas.

Todos los fabricantes citados hacen indistintamente cualquier clase de lámparas que se les encargue, con un descuento para la exportacion de 5 por 100, cargando las letras al cambio corriente, exigiendo sólo al contado una cuarta parte del valor total, y cobrando el resto á noventa dias fecha de la remesa.

Una lámpara de Davy consume 120 gramos de aceite en ocho horas, áun cuando en experimentos hechos con cuidado, y que á su tiempo hemos señalado, se fije el consumo en $7^{gr.}$,42 de aceite por hora.

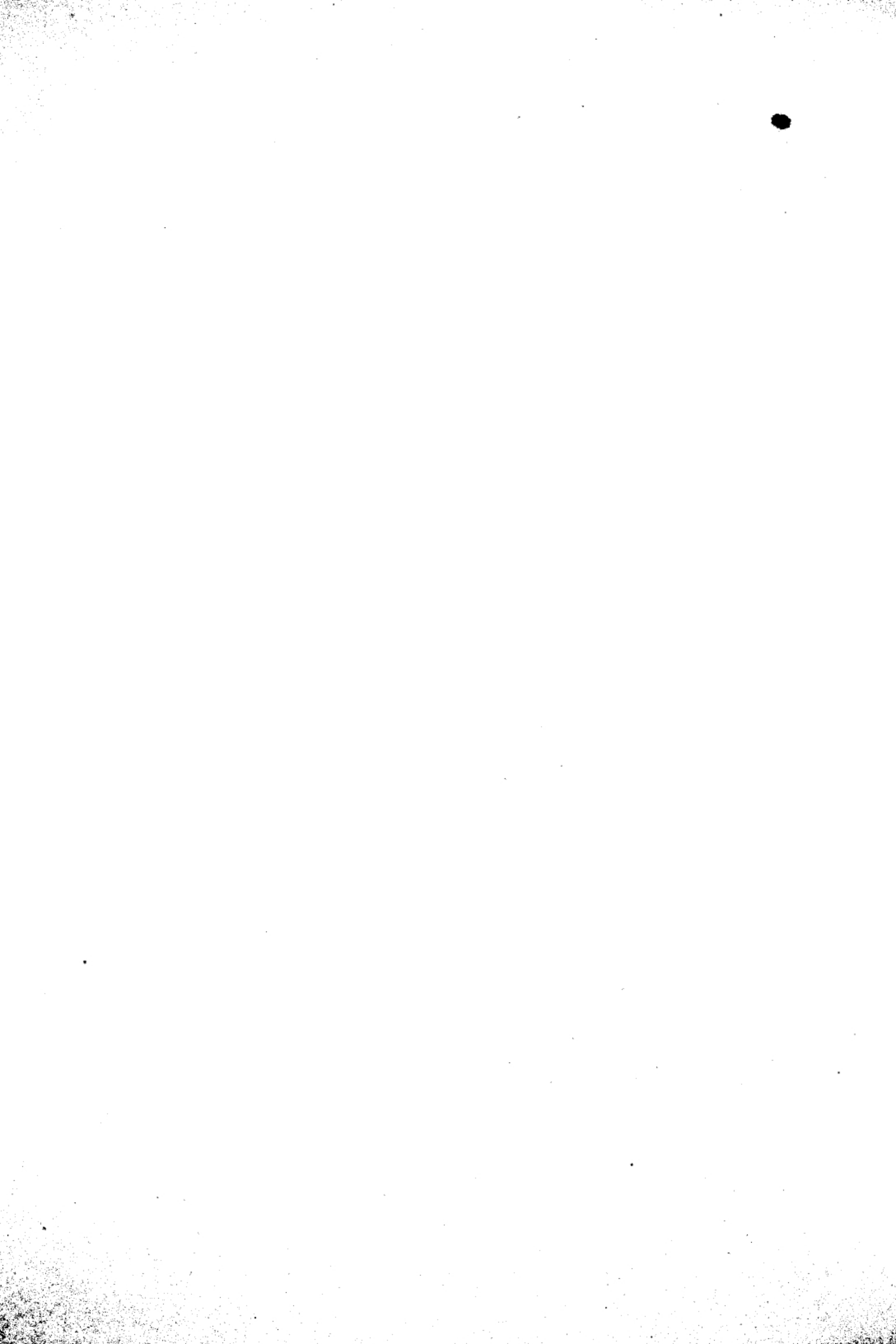
La lámpara Dubrulle consume próximamente lo mismo que la de Davy, y las lámparas con cristal y buena corriente queman de 180 á 200 gramos cada entrada de ocho horas.

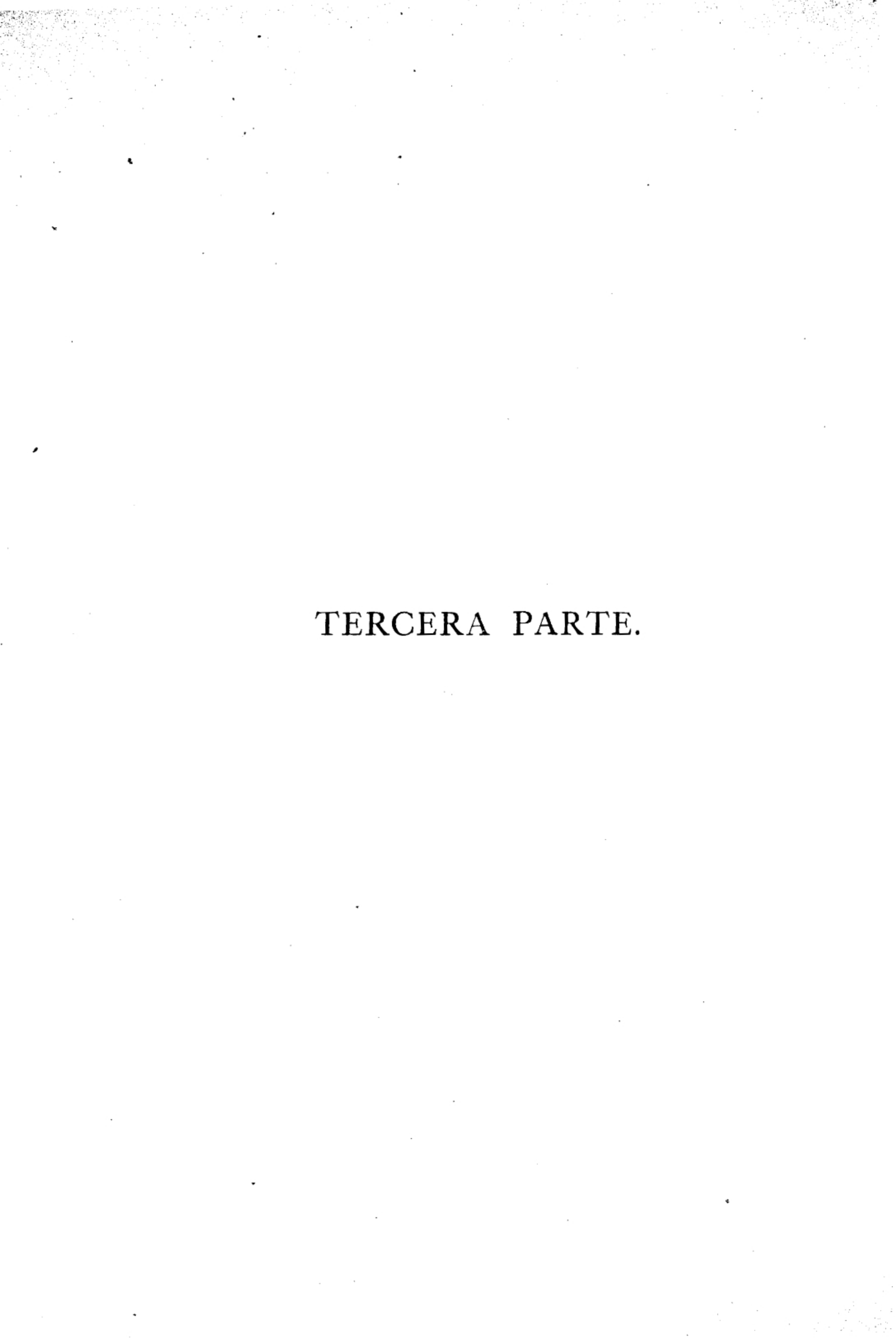
Lo general es usar aceite de colza, que es algo más barato que el de olivas, costando el kilógramo una peseta, término medio, cuando el mismo peso del de olivas vale 1,25 pesetas.

La lámpara de A. Souheur, de Lieja, y la de Tappan, de Baltimore, consumen, lo mismo una que otra, 100 centímetros cúbicos de petróleo en ocho horas, y el litro se puede adquirir á ménos de 0,75 pesetas.

Las lámparas con colżalina queman por entrada de ocho horas 180 gramos, y el precio que tiene este combustible es el de 50 céntimos por litro, y comprando una lata de diez gallons sale á 25 céntimos de peseta el litro.

Una lámpara de Davy cuesta próximamente 15 céntimos de peseta por entrada, y lo mismo una de Dubrulle. Alimentadas con aceite de colza, las lámparas modificadas vienen á costar 20 céntimos por entrada, miéntras que las que consumen petróleo sólo cuestan 12, y las de colzalina 8 céntimos de peseta, con lo que en poco tiempo ahorran su mayor precio de adquisicion.





TERCERA PARTE.



CAPÍTULO PRIMERO.

NATURALEZA, PROPIEDADES Y VENTAJAS DE LA LUZ ELÉCTRICA.

Inconvenientes del alumbrado minero actual.—Qué condiciones debe reunir el que le sustituya.—Alumbrado eléctrico y sus ventajas.—Qué es la luz eléctrica y cómo se produce.—Arco voltaico.—Intensidad calorífica y luminosa del arco voltaico.—Análisis expectral comparativo de diversas luces.

Los sistemas de alumbrado descritos en los capítulos anteriores eran no há mucho los sólo conocidos, y son hoy mismo los únicos verdaderamente aplicados en las minas. Todos ellos, como hemos hecho notar, están muy léjos de cumplir las condiciones que deben exigirse á un sistema de iluminacion para un caso tan especial como el de las excavaciones subterráneas, pues la luz que proporcionan es escasa y debida á la combinacion química del combustible con el oxígeno del aire, con lo que desaparece la parte respirable de éste, y es reemplazada esencialmente por vapor de agua y ácido carbónico, desarrollándose al propio tiempo un intenso calor.

A estos inconvenientes hay que agregar los ocasionados por el humo nauseabundo, que acaba de viciar la atmósfera,

y en las minas de hulla el peligro siempre amenazador de terribles explosiones é incendios, riesgo no evitado, tan sólo disminuido, con el uso de las lámparas de seguridad.

Siguiendo por este rumbo, es decir, pidiendo exclusivamente á la combinacion química la necesaria luz, el progreso, tanto en el alumbrado general como en el minero, se hubiera limitado, y no sería cosa de desdeñar, al empleo de un combustible más barato ó de mayor potencia luminosa, ó á la invencion de una lámpara que superase en efecto útil á las conocidas, sin desventaja en seguridad, coste y manejo; pero siempre hubieran quedado en pié los inconvenientes que se han indicado, como inherentes al fenómeno.

La solucion completa del problema estriba en encontrar una luz clara, barata, fácil de manejar y de no difícil instalacion, que no vicie la atmósfera ni eleve desmesuradamente la temperatura, y que conjurando en absoluto todo peligro de incendio, explosion ó inflamacion de gases, pueda brillar hasta en un sitio privado de aire.

¿Se ha llegado á obtener tal solucion? No hace mucho que la contestacion hubiera sido negativa; ayer, por decirlo así, sólo para muy limitados casos, cual los faros ó los grandes tajos de labor, se reconocia la superioridad de un nuevo manantial de luz, *la electricidad*, sobre los de antiguo usados; hoy la luz eléctrica invade los arsenales, los talleres, las grandes fábricas, las estaciones de los caminos de hierro, las calles y plazas de las ciudades, los establecimientos comerciales de lujo; se plantea en los buques, muelles y plazas fuertes, y por donde quiera despierta la pública atencion. En una palabra, hace apénas diez años un foco eléctrico sólo era un objeto curioso, nadie creia en la posibilidad de utilizarle industrialmente; hoy la luz eléctrica está ya vulgarizada. El

memorable experimento de Humphry Davy se ha convertido en una de las más brillantes aplicaciones de la ciencia.

Para llegar á este punto han sido necesarios grandes trabajos y numerosos progresos en el arte de engendrar la electricidad; progresos que si están léjos de haber llegado á su término, bastan ya para sostener por muchos conceptos la superioridad del nuevo alumbrado, pues las objeciones que en un principio se le opusieron han desaparecido poco á poco; el brillo, demasiado vivo, de la luz ha sido amortiguado; se ha corregido la crudeza del color; se ha logrado recientemente aunar la fijeza con la divisibilidad, y, por último, á un fulgor que tan sólo al del sol cede, á lo inofensivo del uso y á lo agradable del aspecto, ha venido á reunirse la ventaja de una economía inesperada.

Ciñéndonos al tema y al problema minero cuya solucion intentamos presentar, pudiéramos tomar como base y dar por conocidos los hechos y procedimientos definitivamente adquiridos para la industria que son objeto de interesantes obras especiales; mas, por una parte la reconocida importancia que entraña, así científica como industrialmente, y la universal curiosidad que el novísimo alumbrado excita, y por otra la necesidad de motivar la preferencia que tendrémos que acordarle sobre los antiguos sistemas, proponiendo en muchos casos el uso de aparatos eléctricos determinados, nos obligan á entrar en algunas consideraciones teóricas, y á historiar, siquiera sea someramente, las fases por que este invento ha pasado hasta llegar á lo que es hoy dia; páginas que, en nuestra humilde opinion, ni huelgan en este libro, ni el recorrerlas será fatigoso, por escaso que sea el mérito de su redaccion, gracias al atractivo y novedad del asunto.

No negarémos que para alcanzar la aplicacion general á que el alumbrado eléctrico está llamado, necesita aún algunos perfeccionamientos, que todo induce á creer no se harán esperar mucho: locura sería sostener que para él se ha escrito la última palabra; pero tambien lo sería, como dice algun autor, rechazar el empleo de una cosa ya muy buena, superior á las conocidas, porque más adelante pudiera encontrarse otra mejor.

La luz eléctrica, que puede producirse en una atmósfera cualquiera, áun cuando sea impropia para la combustion, es el efecto de una descarga ó del paso de una corriente de electricidad á traves de cuerpos gaseosos, líquidos ó sólidos, siempre que presenten suficiente resistencia á la marcha del flúido, ó en otros términos, que sean poco conductores, pues así se origina una elevacion brusca de tension en la corriente y un enorme calor en el cuerpo, por tener que pasar en el mismo tiempo la misma cantidad de electricidad á traves del circuito, cualesquiera que sean su forma y composicion, produciéndose en él como resultado final, candencia y luz. Si el cuerpo conductor es sólido, basta para la produccion del efecto luminoso que sus dimensiones estén en la relacion conveniente con la intensidad de la corriente eléctrica; pero si es gaseoso, será indispensable que los electrodos puedan suministrar, á más del calor necesario para comunicarle suficiente conductibilidad, partículas muy divididas, que, enrojecidas al blanco, presten el brillo necesario; si la distancia entre los electrodos es considerable, se necesitará una gran tension eléctrica; y si es muy corto el intervalo gaseoso, bastará con que el generador eléctrico dé una gran cantidad de flúido; pero en este último caso, para que brote la luz habrá que empezar por poner

en relacion los electrodos. La luz eléctrica producida entre dos conductores, separados por una capa gaseosa, se llama arco voltaico; su estudio nos dará á conocer los caractéres y principales propiedades de esta clase de luz.

Su descubrimiento se debe al ilustre químico inglés H. Davy, á quien, en 1813, se le ocurrió hacer pasar entre las puntas, afiladas como un lapicero, de dos carbones enrojecidos y apagados en azogue, la corriente de una fuerte pila de artesa de 2.000 elementos de zinc y cobre; pila de que se valia para el estudio de los efectos químicos de la electricidad, que le condujeron al descubrimiento de los metales alcalinos: puso los dos carbones en contacto, las puntas se caldearon, y al separarlas vió originarse entre ellas una llama de forma convexa, que se producia lo mismo en el aire que en el vacío, y la cual, separando los conductores, podia alcanzar una longitud máxima de 0^{m}'10, pasado cuyo límite se extinguia la luz, necesitando para su reproduccion volver á poner en contacto los carbones.

Esta llama, que, como dejamos dicho, ha recibido el nombre de arco voltaico, tiene una temperatura tan elevada, que en ella se funden las sustancias más refractarias, el platino, el cuarzo, el manganeso, la cal, etc.; la plombagina y el diamante se consumen instantáneamente, áun cuando se verifique el experimento en el aire enrarecido por la máquina neumática, y el hierro arde, proyectando chispas numerosas.

El brillo del arco voltaico, comparable al del sol, depende de la intensidad de la corriente, de la naturaleza de los electrodos y de la atmósfera en que se produce. Con electrodos de potasio y sodio es más brillante que con los de platino y oro, y más en el aire que entre vapores de mercurio:

el color cambia con los electrodos; es amarillo con el sodio, blanco con el zinc, verde con la plata: la forma varía tambien, siendo cónica entre una punta de cok y una hoja de platino, y ovoide entre dos puntas de carbon: la longitud depende de la intensidad de la corriente; Davy llegó á obtener un arco de 0^{m}'10 en el aire y 0^{m}'18 en el vacío; hoy se llega hasta 0^{m}'20 en el primer caso, y de los experimentos de Despretz en 1850 resulta que la longitud del arco crece más rápidamente que el número de elementos de pila empleados; que este acrecentamiento es más fuerte para los arcos pequeños que para los grandes; que cuando los elementos están asociados en tension, es mayor que si lo están en cantidad; que es tambien mayor cuando los electrodos están colocados verticalmente, y en este caso, cuando el positivo está encima, y que para electrodos horizontales, la pila de cantidad es preferible á la de tension.

El arco-voltaico se forma por el paso de la corriente á traves de las partículas materiales desprendidas de los electrodos, cualquiera que sea la naturaleza de éstos, llevadas á la candencia y proyectadas en todas direcciones, pero principalmente de un polo á otro, y más particularmente del positivo al negativo; siendo, segun Grove, la longitud del arco tanto mayor cuanto más volátiles son los cuerpos que forman los electrodos.

La presencia del aire en medio de estas partículas disminuye la conductibilidad, y así se explica por qué cuanto más enrarecida está la atmósfera, mayor es la longitud del arco. El electrodo positivo alcanza una temperatura más elevada que el negativo; y cuando los dos son de carbon, disminuyen rápidamente de volúmen en el aire, siendo el gasto del positivo doble del del negativo. En el vacío, como no hay

combustion, si bien el positivo se ahueca disminuyendo de peso, y el negativo se alarga aumentando de volúmen, es casi nulo el desgaste total. En fin, el arco voltaico es en realidad un conductor, aunque muy resistente, interpuesto en el circuito, y que lo completa ó cierra.

Condensar el calor en un pequeño espacio, y elevar así más y más la temperatura de los cuerpos, es lo que se necesita para la produccion de la luz, y no hay nada comparable á la electricidad para conseguir este resultado, ni que más facilidades presente para trasportar el calor de un punto á otro. Como cantidad y calidad de luz tampoco hay sistema de alumbrado que sobrepuje al eléctrico, segun vamos á demostrar.

Que el arco voltaico encierra una temperatura extraordinariamente elevada, se prueba con la fusion del platino, que exige cuando ménos la de 1500°, y más aún con la volatilizacion de los cuerpos tenidos por más refractarios. Mr. John Tyndall ha hecho palpable, por decirlo así, esta elevada temperatura en los notables experimentos que practicó en la *Royal Institution*, en 1865, poniendo en accion el poder calorífico de un foco eléctrico, al propio tiempo que absorbia por medio de una disolucion opaca de yodo la luz recogida por reflexion en un espejo plateado.

La temperatura de las llamas de aceite y gas no excede de 800° ó 900° : ni el cobre ni la plata, ni mucho ménos el platino, se funden en ellas; y á pesar de esto calientan infinitamente más que la luz eléctrica, á pocos centímetros de la cual se puede mantener un pedazo de yesca sin que arda, miéntras que á igual distancia de una lámpara de petróleo se inflama la madera. M. Jamin, en un notable artículo publicado en la *Revue des Deux Mondes* del 15 de

Marzo de 1878, explica de la manera siguiente el que una lámpara ordinaria, cuya temperatura es relativamente baja, irradie mucho calor y poca luz, miéntras que el arco, con una enorme temperatura y dos mil veces más luz, desprenda un calor muy débil.

«Cuando los cuerpos se calientan no emiten rayos simples, sino mezclas de radiaciones que se desvian desigualmente á traves del prisma para formar un espectro. Por bajo de 100° centígrados son rayos de color oscuro, los ménos refrangibles; de 100° á 500° son radiaciones áun oscuras, pero que se aproximan al espectro visible; á 525° con los rayos oscuros precedentes comienzan otros visibles rojos, y poco á poco con el aumento de temperatura van apareciende todos los colores del espectro; el violado aparece á 1100°, y las radiaciones químicas invisibles se muestran en seguida: el espectro se completa lentamente, crece del lado de los rayos muy refrangibles, pero disminuye al mismo tiempo por el opuesto, el de los rayos oscuros. Se puede decir que el conjunto se compone de vibraciones más y más rápidas, y puede compararse á un instrumento de música que diera sonidos cada vez más agudos.

»Ahora bien, pasando un termómetro muy sensible por las bandas del espectro, se observará que el color *violado* no calienta; que empieza á hacerlo el *verde;* que el efecto termométrico aumenta al acercar el aparato al *rojo*, y continúa creciendo en el espacio siguiente ocupado por los rayos oscuros. De aquí resulta que, aumentando la temperatura de los cuerpos, la proporcion de los rayos caloríficos emitidos disminuye, en tanto que crece la de los exclusivamente luminosos, y que el arco voltaico, el más caliente de los focos, emite la mayor cantidad de luz con la menor proporcion de calor.»

Una explicacion más conforme con la idea de las vibraciones del calor nos ocurre presentar para explicar el fenómeno citado en el arco voltaico. Como quiera que el brillo de la luz eléctrica aumenta reduciendo el campo de accion del flúido productor, lo que se justifica al recordar que dentro de un tubo de Geissler la chispa apénas luce, pues tiene que llenar un espacio considerable, y tambien se confirma con la imposibilidad de lograr en un circuito la candencia de un hilo metálico si es grueso, podemos deducir que las vibraciones que en un cuerpo ejerce la electricidad para producir la luz son en número extraordinario, pero limitadas á un punto casi matemático. De aquí se deduce que fuera de este punto no hay otro movimiento que el originado en una gran masa (en general la atmósfera) por la fuerza viva de la luz que representa una cantidad muy pequeña, ya que sólo se ejerce en una extension limitadísima, y es, por consiguiente, incapaz de producir la agitacion necesaria para engendrar luz, ni áun para originar calor, miéntras que en las lámparas ordinarias, si bien las vibraciones son para cada punto ménos numerosas, y por tanto la luz más oscura, el número de puntos en ignicion es inmenso y ocupan una gran masa capaz de trasmitir vibraciones caloríficas hasta cierta distancia.

La luz eléctrica tiene tan gran analogía con la solar, que ha podido utilizarse en la Fotografía y en los trabajos de noche para aquellas industrias que exigen clara distincion de los colores. Su intensidad, segun Foucault y Fizeaux, es la mitad de la del sol, en tanto que la luz Drummond representa apénas $\frac{1}{150}$ y la de la luna $\frac{1}{300000}$. La luz eléctrica sometida á esta comparacion fué producida por pilas

voltaicas; si los experimentos se repitiesen con las poderosas máquinas de Siemens ó Gramme, probablemente se obtendria una intensidad igual á la del sol, que alumbra tanto como 5774 bujías á 0^{m}'33 (*).

El análisis espectral comparativo de las diversas luces conduce tambien á deducciones favorables á la eléctrica, y explica la tinta azulada que en ella se nota.

Dice M. Jamin, en el ya citado artículo: «Todo el mundo ha notado que la luz de los mecheros de gas parece amarilla cuando se encienden ántes de la noche, y que sucede lo mismo cuando se compara con la de los globos de luz eléctrica. Los ojos son un órgano tan complaciente, y están de tal modo acostumbrados al color amarillento del antiguo alumbrado, que ya lo encuentran agradable, en tanto que acusan de pálida y descolorida á la luz eléctrica, aunque se asemeja más que ninguna otra á la del dia. Esta cuestion merece tratarse á fondo.

»Se sabe desde los tiempos de Newton, no sólo que la luz emitida por un foco cualquiera es compleja, sino que está compuesta de una mezcla de rayos simples, que el prisma separa y presenta ordenados en el espectro. Estos rayos afectan de diferente modo á la vista: sus tintas pasan de unas á otras por degradaciones insensibles y armoniosas, pero se destacan siete tipos principales, que son: el rojo, el anaranjado, el amarillo, el verde, el azul, el añil y el

(*) Dos luces tienen intensidades iguales cuando, colocadas de igual manera respecto á una misma superficie, la iluminan igualmente. Los aparatos destinados á hacer la comparacion de intensidades luminosas se llaman *fotómetros*, y los más usados son los de Foucault, Rumford y Wheatstone. El tipo de comparacion adoptado es la lámpara Carcel, que consume por hora 42 gramos de aceite de colza purificado.

violado. Estos colores simples son los elementos de todas las tintas posibles y de los flujos emitidos por cualquier luz, siendo la mejor la que los contiene á todos y en igual proporcion.

»El arco eléctrico que se produce entre un metal como la plata y un carbon, no contiene sino dos fajas verdes; y si se reemplaza la plata por otros metales, el espectro obtenido está siempre formado por rayos brillantes separados por largos espacios oscuros. Estas luces son, por consiguiente, muy incompletas y no pueden servir para el alumbrado.

»Veamos ahora las luces de aceite ó gas. Éstas se resuelven en un espectro contínuo: el rojo, el anaranjado y el amarillo son en ellas muy abundantes; tienen poco verde, casi nada de azul y apénas violado. Son, pues, estas llamas muy ricas en colores poco refrangibles, lo que les da la tinta anaranjada, y pobres en rayos muy desviados, cual el añil y el violado. Podria quitárseles lo que tienen de más, el rojo; mas es imposible añadirles el añil y violado de que carecen; pecan por falta, y ésta es la causa de su inferioridad.

»La luz eléctrica es más compleja, procede á la vez de los carbones y del arco, y difiere segun sea uno ú otro su orígen. La que procede de los carbones es blanca; es absolutamente igual á la del sol y contiene en las mismas proporciones todos los rayos simples. Es completa y perfecta y reemplaza á la del dia sin modificarla. No sucede lo mismo á la que envia el arco; es de un azul violeta, y su espectro, producido enteramente en el lado de los colores más refrangibles, es inverso de el del aceite ó gas; contiene poco rojo, mucho azul y un exceso de violado. Esto es lo que da al alumbrado eléctrico la tinta azulada, cuya crudeza se critica.»

Ahora bien, si no se puede añadir á la luz de las lámparas ordinarias lo que les falta, se pueden quitar á la eléctrica los rayos que tiene de más; y ya verémos más adelante la manera de hacerlo.

Lo primero que se necesita para obtener luz eléctrica es poseer un generador de electricidad que dé este flúido en la cantidad y con la tension necesarias para el caso, y en las condiciones más ventajosas de coste y energía de accion. De estos generadores, pilas y máquinas magneto-eléctricas tratarémos en el capítulo que sigue.

CAPÍTULO II.

PILAS Y MÁQUINAS MAGNETO-ELÉCTRICAS.

Pilas; sus clases.—Condiciones de las aplicables á la produccion de luz eléctrica. —Pilas de Daniell, Grove, Bunsen, Carré, Trouvé, Poggendorff y Planté.—Inconvenientes de las pilas.—Máquinas magneto-eléctricas.—Induccion magneto eléctrica; descubrimiento de Faraday.—Disposicion general de las máquinas magneto-eléctricas.—Máquinas de Pixii, Saxton, Clarke, Niaudet, L'Alliance, Siemens-Halske y Wilde.—Descubrimiento de Siemens y Wheatstone.—Máquinas de Ladd y Lontin.—Máquinas de Gramme de corrientes contínuas y de corrientes alternantes.—Máquinas de Siemens y Hafner-Altecneck, Bauer-Haebe, Brush, Wallace-Farmer, Méritens, Jablochkoff, Weston y Edison.—Comparacion de las más usadas.

El único aparato empleado hasta hace muy pocos años para producir corrientes eléctricas con aplicacion á los experimentos científicos, á la industria, á la obtencion de luz y á la medicina, era la pila, cuya invencion remonta al año 1800, y que, como de todos es sabido, se debe á Volta, profesor de Física en Pavía.

Por interesante que sea, no debemos entrar en la descripcion de las diferentes clases de pilas voltaicas que se conocen; ya de un solo líquido, ácido ó no; de dos líquidos (*);

(*) Estas pilas, como dice Niaudet, debieran más bien llamarse, ya que á veces se emplea como despolarizante de los electrodos un sólido, de dos electrolysos, con cuya palabra, derivada de ηλεκτρον y λυσω (electricidad y desatar), designó Faraday los cuerpos cuyos elementos son separados por la corriente eléctrica.

otras, secas; de electrodos idénticos; de electrodos no atacados; pilas de gases; y pilas secundarias, en que se aprovecha la polarizacion de los electrodos.

Sólo hablarémos, y muy ligeramente, de las que se han aplicado, ó á nuestro juicio pudieran tener aplicacion en ciertos casos, que irémos viendo despues, para la produccion de la luz eléctrica, que exige durante algunas horas una corriente contínua y de gran intensidad.

La pila de Daniell (*), aunque constante, como su resistencia es muy grande y variable, y consume casi tanto sulfato de zinc cuando trabaja útilmente como cuando no funciona por estar abierto el circuito, rara vez se ha aplicado á la produccion de luz eléctrica; pero la citamos porque se han empleado algunas derivadas de ella, de que vamos á hablar.

Las más usadas para el caso son las de Grove (**), en Inglaterra, y las de Bunsen (***), en Francia y Alemania; ambas tienen una fuerza electro-motriz mayor que la de Daniell, y una resistencia notablemente menor. La fuerza electro-motriz de la de Grove, segun evaluaciones de diferentes físicos, varía, con la concentracion de los ácidos, desde 1'672 á 1'956 volts (****); la de Bunsen, por el mismo

(*) El elemento de esta pila se compone de cobre, zinc amalgamado, sulfato de cobre y ácido sulfúrico diluido.

(**) Un elemento se compone de zinc amalgamado, platino, agua acidulada con ácido sulfúrico y ácido nítrico fumante.

(***) Se encuentra en cada elemento : zinc amalgamado, carbon, agua acidulada con ácido sulfúrico y ácido nítrico fumante.

(****) Llámase *volt*, en recuerdo de Volta, á la unidad de fuerza motriz adoptada por la Asociacion Británica (*British Assotiation United*), que es la de un elemento ó par compuesto de cobre, metido en una disolucion de nitrato de cobre, y de zinc amalgamado introducido en ácido sulfúrico diluido con doce veces su peso de agua; y se denomina *ohm*, en memoria del distinguido físico de este nombre,

motivo, oscila entre 1'690 y 1'734, si bien Clark señala con el ácido nítrico fumante hasta 1'964 volts, miéntras que la de Daniell con zinc amalgamado no pasa de 0'978 á 1'079 de volt.

La resistencia en la pila de Daniell varía entre 4 y 10 ohms, y en las de Grove y Bunsen es inferior á 0'25 de ohm; mas debe tenerse en cuenta que la resistencia es siempre muy variable en las pilas, por lo cual sólo puede darse una idea aproximada de su valor.

Resulta que si se quieren sustituir elementos Bunsen con elementos Daniell, puede obtenerse la misma fuerza electro-motriz, sin más que doblar el número; pero es mucho más difícil obtener una resistencia igualmente débil, á no emplear electrodos de gran superficie y muy cerca uno de otro.

La pila de M. Carré difiere únicamente de la de Daniell en que el vaso poroso está reemplazado por uno de papel-pergamino, cuya resistencia al paso del flúido es muy pequeña. Con sesenta elementos de esta clase se han hecho ensayos en la Universidad de París, comprobándose que á la ventaja de su poca resistencia une la de no emitir vapores ácidos; mas tiene el inconveniente de la fragilidad del vaso que se emplea.

La pila de M. Trouvé, de gran aplicacion á los telégrafos militares y á la Medicina, es una de las más recientes y felices modificaciones de la de Daniell. Cada

á la unidad de resistencia propuesta por la misma Asociacion, que es la de una columna de azogue purificado de 0^{m}'001 cuadrado de seccion y 1^{m}'0486 de altura á 0°C: próximamente la de un hilo telegráfico de 0^{m}'004 de diámetro y 100 metros de longitud. La relacion entre el volt y el ohm da la unidad de intensidad de corriente y se llama *weber*.

elemento, fig. 56, se compone de un disco de cobre en la parte más baja, otro de zinc en la más alta, y entre ambos un gran número de hojas de papel secante; la mitad inferior de la columna formada con el papel está impregnada con una disolucion concentrada de sulfato de cobre, y la superior con sulfato de zinc. Para que la pila funcione hay que añadir agua, pero sólo en la cantidad que el papel pueda absorber, por lo que el inventor ha podido llamarla con razon *pila húmeda*. A traves de los discos, y sólo por su centro, pasa una varilla de cobre, aislada por un tubo de *ebonita* ó goma elástica endurecida, la cual sobresale del disco de zinc y de una placa de pizarra que corona el elemento y sirve de tapadera, ajustándose á un vaso de vidrio que envuelve el aparato. La varilla central lleva un boton de tornillo en la parte externa para establecer la comunicacion con el circuito ó con otro elemento, sirviendo en cada uno de éstos de polo negativo un alambre de cobre soldado á la parte superior del electrodo de zinc. Las ventajas de esta pila son: que áun cuando cargada, si está seca, para lo que basta ponerla al sol ó al aire, ni funciona ni se gasta; que humedecidos los elementos quedan dispuestos para marchar durante muchos meses, dando una corriente de admirable regularidad, con una resistencia apénas variable; y que es muy económica y fácil de volver á cargar cuando se agota el sulfato de cobre.

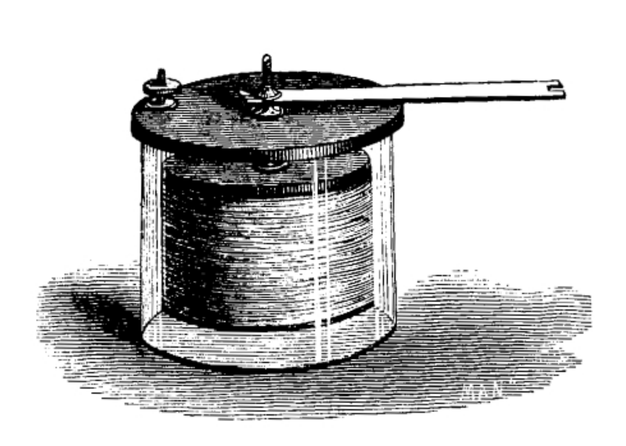


Fig. 56.

M. Poggendorff ha ideado otra pila en la que, para despolarizar el electrodo conductor, se sirve de uno de los medios de preparacion del oxígeno. La forma del elemento es la misma del de Bunsen. En la parte exterior al vaso poroso se pone ácido sulfúrico diluido con doce veces su peso de agua, y en la interior, en vez de ácido nítrico, hay una mezcla compuesta de

100 partes de agua.
12 de bicromato potásico.
25 de ácido sulfúrico.

La fuerza electro-motriz de esta pila es de 2'028 volts cuando empieza á funcionar, disminuyendo despues, porque se polariza muy rápidamente, si bien esta falta se aminora agitando los líquidos ó los electrodos.

Las pilas secundarias están basadas en el conocido fenómeno de que un voltámetro sometido durante cierto tiempo, por poco que sea, á una corriente eléctrica, en cuanto cesa ésta devuelve otra de sentido contrario á la excitadora, es decir, una corriente secundaria.

La pila de M. Planté, fig. 57, está constituida por una probeta de vidrio, de gutta-percha ó de goma endurecida, dentro de la cual se colocan dos láminas de plomo arrolladas en espiral, la una paralelamente á la otra, y separadas por dos cintas de goma que se arrollan al mismo tiempo que las planchas; éstas se sumergen en una disolucion de ácido sulfúrico diluido, y tienen una superficie de 8 decímetros cuadrados en lo que se denomina modelo pequeño, y 40 en el grande. La probeta está herméticamente cerrada por una tapa, en la que hay un agujero para echar los líquidos y dar salida á los gases que se desprendan durante la carga. Corona el aparato una tapadera de ebonita con dos piezas

ó botones metálicos que comunican con los electrodos, bastando para cargar al máximum este elemento, dos pares de Bunsen ó tres de Daniell, y notándose que durante la carga, que exige muy poco tiempo, uno de los electrodos se oxida, perdiendo el aspecto metálico, y el otro se cubre de un

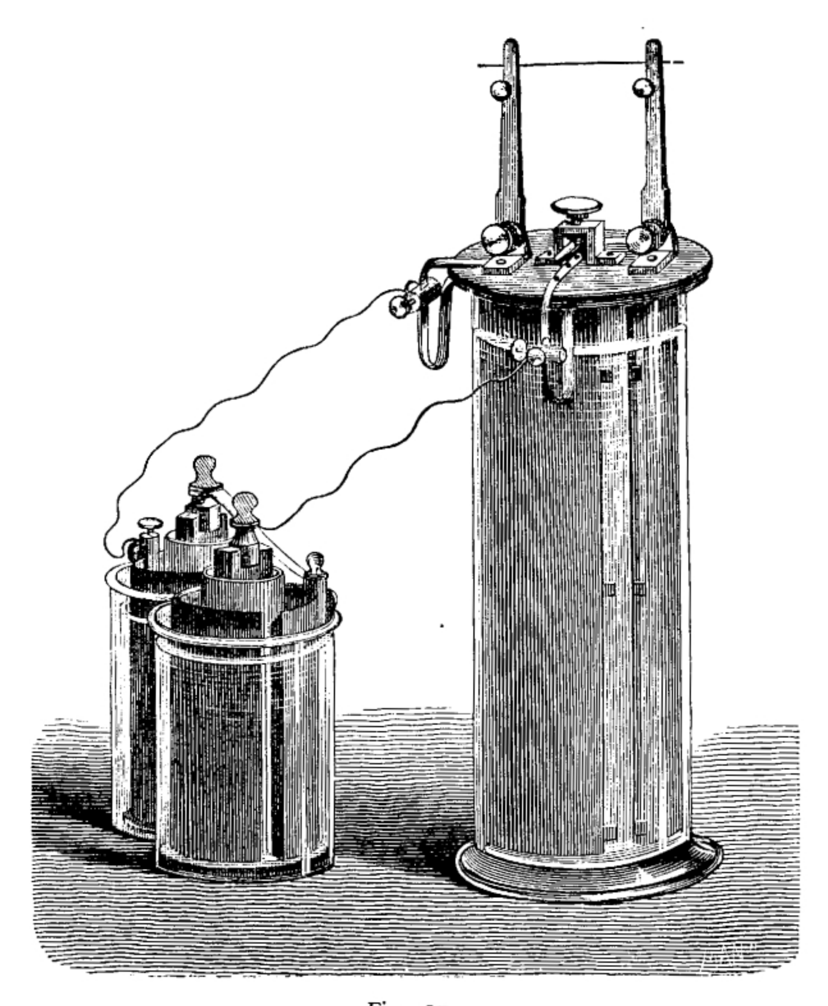


Fig. 57.

polvo gris; debe darse por terminada la operacion cuando empiece á desprenderse oxígeno del electrodo oxidado.

El elemento secundario conserva parte de la carga durante muchos dias, y su fuerza electro-motriz es vez y media la de un elemento de Bunsen (2'38 volts); el decrecimiento de esta tension es lento si el circuito es de gran resistencia, pero muy rápido en caso contrario.

Aun cuando la pila parezca descargada, si se la deja en reposo unos minutos, adquiere de nuevo cierta energía, y esto más de una vez, sin duda porque se polariza como las pilas de un solo líquido. Un elemento Planté es tanto mejor cuanto más veces haya sido descargado. Acoplados varios de ellos en tension y en cantidad, producen los efectos más poderosos; una pila secundaria de 20 elementos en dos filas, que por medio de un conmutador, que puede ser automático, se asocien en cantidad para la carga y en tension para la descarga, con los intervalos necesarios, sólo exige dos pares de Bunsen para iniciar la corriente, y al principio de su accion equivale á 30 de éstos, de gran superficie.

Verdad es que los efectos poderosos que se producen son de corta duracion, pero en muchos casos no se necesita otra cosa, y el aparato tiene en su favor la facilidad de manipulacion y trasporte.

Combinado con la máquina de Gramme, de que luégo hablarémos, se suprimen los ácidos, y se presta á numerosas aplicaciones, sobre todo para establecer en los buques luces intermitentes que sirvan de señales para evitar choques, pedir auxilio, etc., y en la guerra y plazas fuertes, para trasmitir señales ó partes. Cuando las alternaciones de la carga y descarga son menores de un décimo de segundo, el efecto de luz es contínuo.

Cualquiera que sea la pila empleada, el producir las grandes corrientes necesarias para aplicar la electricidad á usos industriales y al alumbrado, sobre el excesivo coste, casi cuatro veces mayor que el del gas, tiene el grave inconveniente de necesitarse un considerable número de vasos de embarazosa instalacion, que piden un contínuo cuidado, y en general se agotan en cuatro ó cinco horas. Aunque

usadas todavía en algunos casos, y susceptibles de buena aplicacion en otros, las pilas, como irémos viendo, han sido sustituidas en las grandes aplicaciones por máquinas magneto-eléctricas (*), que trasformando el trabajo mecánico en electricidad, producen y recogen las corrientes de induccion ó inducidas, que, como sabemos, son las que nacen por la influencia de imanes ó de otras corrientes, que á su vez reciben el nombre de corrientes inductoras, como los imanes el de inductores.

Las corrientes de induccion pueden ser volta-eléctricas por influencia de las voltáicas ordinarias; magneto-eléctricas, debidas á la de los imanes, y telúricas, producidas por la influencia de la tierra, asimilable á un gran iman orientado de Norte á Sur, ó á una corriente dirigida de Este á Oeste. Todas ellas presentan el doble carácter de ser de muy corta duracion y tener una intensidad considerable áun en circuitos muy resistentes.

A Faraday se debe, en 1831, el descubrimiento de la induccion electro-magnética, base ó principio fundamental de las poderosas máquinas de que vamos á tratar, y puede decirse tambien que construyó la primera de ellas, pues no es otra cosa su aparato, destinado á probar que en un platillo metálico que gira rápidamente delante de los polos de un iman se desarrollan corrientes inducidas. Faraday demostró que si se introduce un iman en un carrete de alambre aislado, se produce en éste una corriente eléctrica que sólo

(*) Bajo la denominacion de máquinas magneto-eléctricas deben comprenderse así las provistas de imanes ordinarios ó imanes de Jamin, como las que en lugar de éstos tienen electro-imanes, llamadas frecuentemente electro-dinámicas, tanto porque el magnetismo es orígen de la corriente, como para distinguirlas de las máquinas eléctricas comunes de disco de vidrio.

dura un instante, y que si se retira el iman, se origina otra corriente momentánea y en direccion inversa á la primera (*).

Si ideáramos un medio de introducir y sacar el iman del carrete con una gran rapidez, obtendriamos una serie casi contínua de corrientes; y si suponemos ademas que se emplean muchos carretes de alambre y muchos imanes; que se pone la máquina en movimiento de manera que durante éste haya siempre un iman entrando ó saliendo de un carrete, y por último, si se adopta una disposicion que equivalga á cambiar la direccion de los alambres con tanta rapidez como se verifique la entrada y salida de los imanes, esto es, si se aplica un conmutador, habrémos conseguido obtener una corriente eléctrica contínua y siempre en la misma direccion.

Ahora bien, si se aproxima un iman permanente á una barra de alambre dulce rodeada de un alambre aislado, ésta se imana, resultando á la vez una corriente de induccion producida en el alambre; repítase con mucha frecuencia la aproximacion, lo que fácilmente se consigue colocando cierto número de imanes en una corona ó alrededor de un

(*) Michel Faraday, hijo de un herrero, nació en 1791 en Newington-Surrey, cerca de Lóndres. Aprendiz de encuadernador en un principio, la lectura de obras de Física y Química le hizo abandonar el taller, y con la proteccion de Davy fué en 1813 de ayudante al laboratorio de Albermale-Street, sucediendo á su protector y maestro en la cátedra de Física y Química de la *Royal Institution.* Dedicóse especialmente al estudio de la electricidad, y al par que descubrió el fenómeno de la induccion, sus investigaciones le condujeron á sostener el primero que el calórico, la luz, el magnetismo y la electricidad no son sino manifestaciones diversas de una misma fuerza. Despues de ser miembro de las Academias inglesas de Ciencias y de Medicina., Oficial de la Legion de Honor, y de estar condecorado con otras muchas órdenes extranjeras, el Gobierno inglés le concedió en 1835 una pension de 300 libras esterlinas. Colmado de honores, y habitando por favor especial en la residencia real de Hampton-Court, murió en 1867.

eje á que se comunique rápido movimiento de rotacion, y se obtendrá un gran número de corrientes, que podrán sumarse en la misma direccion si al aparato se adapta un conmutador.

Se comprende que para tener fuertes corrientes son necesarios grandes y poderosos imanes, lo que eleva considerablemente el coste de las máquinas, cuya disposicion, en lo esencial, hemos indicado en las líneas que anteceden.

La primera mejora ideada para estas máquinas fué hacer que en vez de moverse los imanes se moviera la armadura, ó sea la barra de hierro dulce rodeada de alambre aislado, bien fuese haciendo pasar cierto número de armaduras por el campo de accion de un iman, ó bien haciendo girar un solo juego de éstas ante varios imanes colocados radialmente en torno del eje á que están sujetas aquéllas, y recogiendo por sencillos medios la electricidad engendrada.

Las primeras máquinas así dispuestas fueron las de Pixii, Saxton y Clarke, en cuya descripcion, que puede verse en cualquier tratado de Física, no entrarémos, pues no produciendo sino débiles corrientes, no tienen aplicacion á nuestro objeto.

La de Niaudet, compuesta de doce carretes de induccion ó bobinas (*) de alambre de cobre aislado y alma de hierro dulce, que giran entre dos imanes, produce ya corrientes de

(*) Emplearémos la palabra *bobina*, derivándola del frances, como los ingleses la de *bobbin*, por creerla más expresiva y determinante que las de carrete y carretel, que algunos han usado, por semejanza de forma, para designar el aparato electro-magnético de que hablamos. Nos fundamos, al proponer la aceptacion de esta palabra, en que la regla de todo progreso lexicológico, así como fisiológico, es la division del trabajo: un animal es tanto más elevado en la escala de los seres, cuantas ménos funciones se desempeñan por cada uno de sus órganos; lo mismo sucede con los idiomas; son tanto más perfectos cuanto ménos acepciones tienen las palabras que los componen. En un principio aquéllos constaban de corto número de

bastante intensidad; pero las verdaderamente industriales, puede decirse que empiezan en la de Nollet, llamada de la Alianza (*L'Alliance*), modificada por Van Malderen, en la que un gran número de bobinas gira entre los polos alternados de varios juegos de imanes ó haces imanados encorvados en herradura y fijos; produciéndose así con poca fuerza motriz corrientes alternantes muy intensas; pero el aparato resulta caro y ocupa mucho sitio.

En la máquina de Holmes las bobinas están fijas y delante de ellas giran imanes ó electro-imanes, excitados estos últimos por parte de la corriente producida, y asociadas aquéllas de modo que se puedan tomar corrientes distintas para producir luces independientes.

En la de Siemens y Halske, la armadura, que gira alrededor de un eje y entre los brazos de un iman vertical encorvado en herradura, es un largo cilindro constituido por un alambre aislado arrollado sobre un alma de hierro como el hilo sobre una lanzadera; y en la de Wilde, un aparato de Siemens y Halske produce el magnetismo en un gran electro-iman, que á su vez desarrolla en una armadura, como la acabada de describir, las corrientes utilizables.

En los aparatos que anteceden vemos empleados como inductores los imanes permanentes; pero en las poderosas máquinas, en cuya descripcion vamos á entrar, no se hace

voces, y éstas tenian un sentido muy comprensivo, como respondiendo á ideas muy generales y poco determinadas; con el tiempo ha habido necesidad de introducir restricciones á tan excesiva amplitud, que originaba oscuridad en la expresion, y para esto llevar al lenguaje la division de trabajo que para las ideas efectúa poco á poco el espíritu. Cuando la necesidad de esta division se experimenta, y creemos que el caso ha llegado para nosotros, la nueva palabra nace por el desenvolvimiento de una raíz clásica, la invencion de una combinacion particular, ó tomándola de otro idioma.

uso sino de electro-imanes, aplicando un importante descubrimiento hecho en 1867, independientemente, por Siemens y por Wheatstone, aunque dado á conocer en el mismo dia á la Sociedad Real de Lóndres.

Este descubrimiento consiste, esencialmente, en la utilizacion del magnetismo remanente ó inherente del alma de un electro-iman, para iniciar en el primer momento una débil corriente en el alambre aislado que le rodea.

Esto supuesto, si una bobina ó armadura de cualquier forma gira entre los polos de un electro-iman por el que pase una corriente, se desarrolla otra inducida en la bobina, tanto más intensa cuanto mayor es la velocidad y más poderoso el magnetismo. Si se emplea una parte de la corrienta inducida en excitar el electro-iman, se aumenta la potencia de éste, y por consiguiente, la intensidad de la corriente inducida. Si la máquina se pára, queda siempre en el electro-iman cierta cantidad de magnetismo, la cual, por débil que sea, hace nacer en la bobina, puesta de nuevo en movimiento, una corriente que, enviada al electro-iman, aumenta la potencia de éste, que á su vez actúa con mayor fuerza sobre la bobina: la corriente eléctrica va así creciendo hasta alcanzar el máximum correspondiente á la velocidad y á la cantidad de hierro y cobre que entra en el aparato. Dábase en un principio á los electro-imanes la excitacion inicial necesaria para la marcha de esta clase de máquinas, por medio de la pila ó de otro aparato; pero Siemens hizo notar que bastaba tocarlos con un iman ordinario ó colocarlos paralelamente al eje magnético de la tierra. En la práctica no hay necesidad ni áun de esta orientacion, porque el magnetismo terrestre actúa siempre algo sobre los electro-imanes, y bastan indicios del flúido para provocar la

accion acumuladora de la máquina y servir de orígen á torrentes de electricidad en cantidad infinita, si la materia pudiera tomar velocidades infinitas.

De las máquinas de Ladd, de corriente contínua, y de Lontin, de corrientes alternantes, nos limitarémos á decir, para no hacer demasiado largo este capítulo, que la primera se compone de dos grandes electro-imanes rectos y paralelos, á cuyas extremidades hay dos armaduras de Siemens; una, la más pequeña, excitadora de los electro-imanes; y la otra, generadora de la corriente utilizable; y que la segunda es muy parecida en el fondo á la de Holmes, salvo la sustitucion de los imanes permanentes con electro-imanes excitados por una máquina auxiliar.

La máquina de M. Gramme, de corriente contínua (modificacion de otra anterior de Paccinotti), que ocupa en Francia tan preferente lugar como en Inglaterra la de Siemens, en Alemania la de Bauer y Haebe, y en América las de Brush y Wallace, tal como hoy se usa para el alumbrado industrial y público, tipo de taller, fig. 58, resúmen de los perfeccionamientos ideados por el inventor, desde que presentó la primera en 1872, se compone de dos electro-imanes cilíndricos, intercalados en el circuito general de la corriente, con sus polos combinados y extendidos por piezas, de tal forma, que abrazan casi por completo la armadura que entre ellos gira. Esta consiste en un anillo constituido por un haz de alambre de hierro dulce, para que no conserve magnetismo remanente y sea más rápida la imanacion y desimanacion, sobre el cual están arrolladas sesenta madejas de alambre de cobre aislado, que pueden compararse á los pares de una pila; el extremo saliente del alambre de cada madeja ó rollo, y el entrante de la siguiente, se enlazan ó

atan á unas tiras de cobre, en igual número que rollos, colocadas radialmente y de canto alrededor del eje de rotacion del anillo, aisladas de él y entre sí, y constituyendo un cuerpo cilíndrico cuya superficie se compone de tiras alternantes de cobre y materia aisladora. Dos escobillas ó cepi-

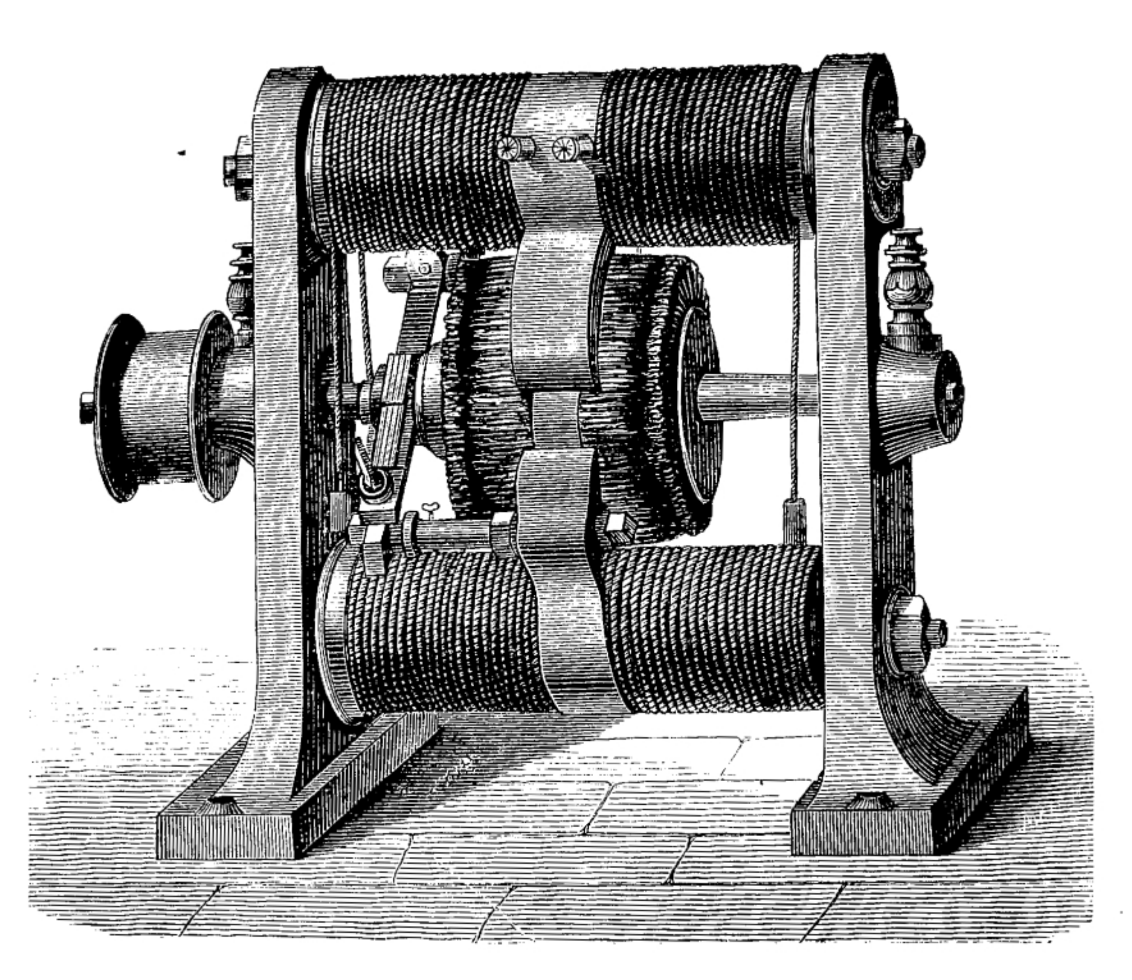


Fig. 58.

llos de alambre de hierro dulce recogen de la superficie del cilindro las corrientes engendradas en las madejas, cuya direccion cambia con la de rotacion del anillo, y las conducen al circuito exterior. Esta disposicion permite prescindir del conmutador para obtener corrientes contínuas, y ha sido copiada en casi todas las máquinas modernas.

La figura adjunta representa esta armadura, completa en

una parte, separados los rollos en otra, y descubierto el anillo en la última (fig. 59).

La máquina de Gramme pesa 180 kilógramos; su altura es de 0^{m}'60; el ancho, de 0'35, y la longitud, comprendida la polea, de 0^{m}'65. Ademas suele llevar un zócalo de 0^{m}'40 de alto que pesa 120 kilógramos. El cobre arrollado sobre los electro-imanes pesa 28 kilógramos, y el del anillo central, $4^{kg.}$'50. Con tan corta cantidad de cobre y una velocidad de rotacion que no pasa de 900 vueltas por minuto, se ha llegado á obtener una intensidad luminosa, sin pantalla ni proyector, de 1.440 mecheros Carcel.

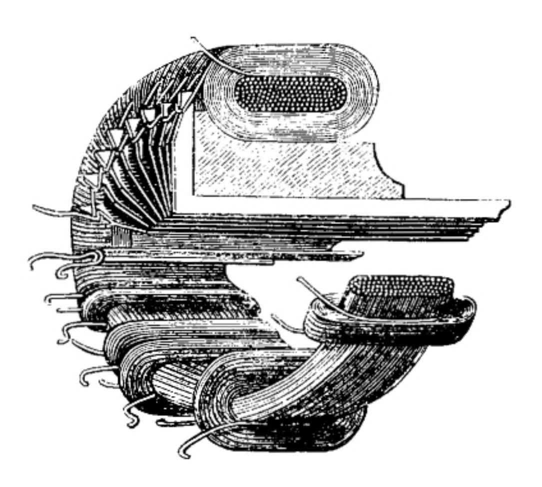


Fig. 59.

Aun cuando las reacciones que originan en este aparato las corrientes eléctricas, no sean sino consecuencias de los principios y fenómenos, ya citados, de la induccion electro-magnética, insistirémos ahora en el asunto por lo original y bien entendido de la aplicacion.

Si por movimientos repetidos se hace que un iman penetre en una espiral cilíndrica de alambre metálico, ó lo que es equivalente, que la espiral recorra con igual movimiento todo el largo del iman, se desarrollarán en el alambre corrientes inducidas en un sentido hasta llegar la espiral á la línea neutra ó media del iman, y en sentido contrario en el resto de la carrera, es decir, positivas y negativas respectivamente, si fuera el polo austral el primero alcanzado por la espiral, y vice-versa si lo fuera el boreal.

Si en vez de un iman tuviésemos dos semicirculares unidos por sus polos del mismo nombre, formando un anillo, lo que daria lugar á dos polos consecuentes y dos líneas neutras, y si la espiral conductora recorriese este anillo, á partir, por ejemplo, del polo austral comun, se engendrarian en el alambre corrientes positivas hasta la primera línea neutra, negativas durante los dos cuartos de círculo en que sigue el movimiento, ó sea hasta la segunda línea neutra, y positivas en el resto hasta el punto de partida; es decir, que los cambios de sentido de las corrientes se verificarian en una línea perpendicular á la de los polos.

Supongamos ahora que al anillo de hierro dulce se arrolla un alambre conductor con sus extremos soldados uno con otro, y todo se coloca entre los polos de un iman permanente ó de un electro-iman activo; la imanacion por influencia tendrá lugar apareciendo en el hierro dos polos consecuentes opuestos á los del iman y en la misma línea. Si el anillo gira, los polos se conservarán fijos en el espacio, por más que sobre el hierro cambien de sitio con velocidad igual y contraria á la del anillo, y al pasar por delante de ellos sucesivamente las espiras ó vueltas de la hélice de cobre, se originarán corrientes que, como en el caso anterior, cambiarán de sentido en la línea media ó neutra, resultando que toda la parte de la hélice, situada á un lado de dicha línea, será recorrida por una corriente en un sentido, y por otra en sentido contrario, la del lado opuesto, pudiendo ambas recogerse y asociarse en cantidad de la ingeniosa manera ideada en la armadura de Gramme. El iman permanente ó el electro-iman desarrollarian por su parte en la hélice conductora, si se suprimiese el anillo, corrientes en un mismo sentido en las semi-espiras exteriores ó que á ellos miran, y

de sentido contrario y ménos intensas en las opuestas, resultando al fin una débil corriente diferencia entre las dos producidas: pero estando el anillo dentro de la hélice impide la accion sobre las semi-espiras interiores, cual una pantalla magnética, y aumenta el efecto total, sumándose la corriente exterior á las que por él se producen, circunscribiendo ademas, lo que, segun M. Gramme, es la causa principal de las corrientes, el campo de accion del iman ó electro-iman.

Si los colectores de corrientes se ponen muy cerca unos de otros, con tal que no estén en una línea paralela á la de los polos, se obtienen corrientes tanto más débiles cuanto más próximos estén, directas ó inversas segun los cuadrantes que ocupen, pudiéndose así tomar muchas corrientes sobre el mismo anillo ó asociar máquinas en tension ó en cantidad. Este último resultado lo ha obtenido M. Gramme con un solo anillo, arrollando á él por secciones, en la forma explicada, dos alambres iguales, enlazados á dos cilindros de tiras alternantes, uno de cada lado, y recogiendo las corrientes por cuatro escobillas.

Iniciánse las corrientes en esta máquina por la reaccion indicada por Siemens, y su continuidad resulta de que el movimiento que las produce es constante, y el circuito no se rompe jamas, puesto que las escobillas empiezan á tocar á una de las piezas del conmutador ántes de abandonar la precedente. La intensidad aumenta con la velocidad de la rotacion, y los efectos de tension ó cantidad dependen del grueso del alambre.

Las máquinas de Gramme, que acabamos de describir, sólo producen corrientes contínuas, segun más adelante explicarémos, mas como para ciertos sistemas de alumbrado

eléctrico son más convenientes las alternantes, M. Gramme ha resuelto tambien este problema por medio de otra máquina llamada *máquina de luz*, de que vamos á dar una idea.

El aparato, representado en córte en la figura 60, consta de las piezas siguientes: 1.°, dos soportes ó gualderas de fundicion, verticales y casi circulares, enlazados perfectamente entre sí por ocho traviesas de cobre; 2.°, un árbol de acero, que sobre unas piezas de fundicion lleva adaptadas, como se ve en la figura, ocho barras de electro-iman; 3.°, una serie de bobinas de alambre de cobre arrollado, sea sobre un anillo ó sobre una serie de segmentos cilíndricos de hierro dulce sostenidos por una delgada llanta de cobre; 4.°, dos platillos de laton aislados, sobre los que se apoyan dos escobillas de alambre de cobre plateado; 5.°, un zócalo; 6.°, una caja ó cubierta de caoba barnizada, provista de agujeros ó ventanillas, para que entrando el aire refresque el aparato, y 7.°, otras várias piezas accesorias para asegurar la estabilidad y proteger los órganos en movimiento.

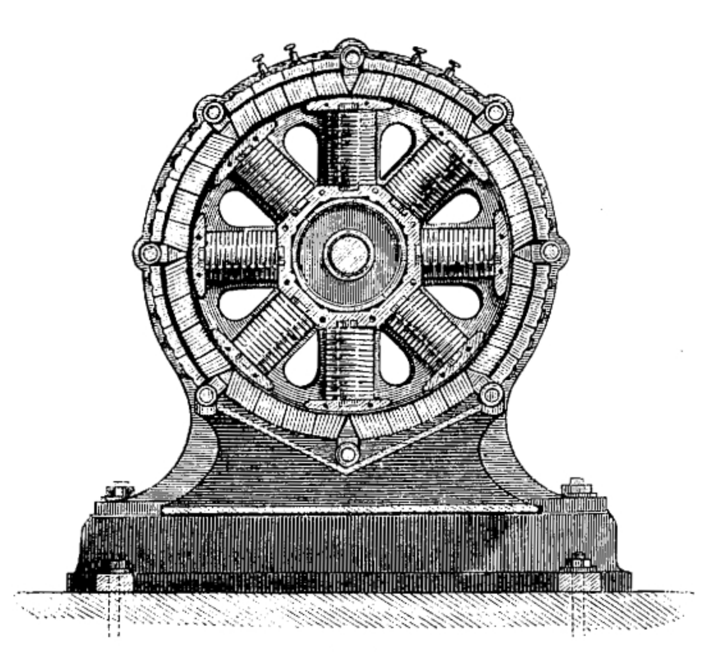


Fig. 60.

La figura 61 representa la máquina en su conjunto.

Los platillos y escobillas sirven para introducir una corriente eléctrica en el electro-iman, la que generalmente se

toma de una máquina Gramme de corriente contínua, pero que pudiera producirse de cualquiera otro modo. El electro-iman tiene ocho polos, boreales y australes alternativamente, y extensas armaduras que dejan entre sí muy corto trecho. Lleva el aparato 32 bobinas, lo que permite obtener, ó bien 32 corrientes distintas, ó aparear los hilos de modo que no haya sino 16, 8 ó 4 corrientes.

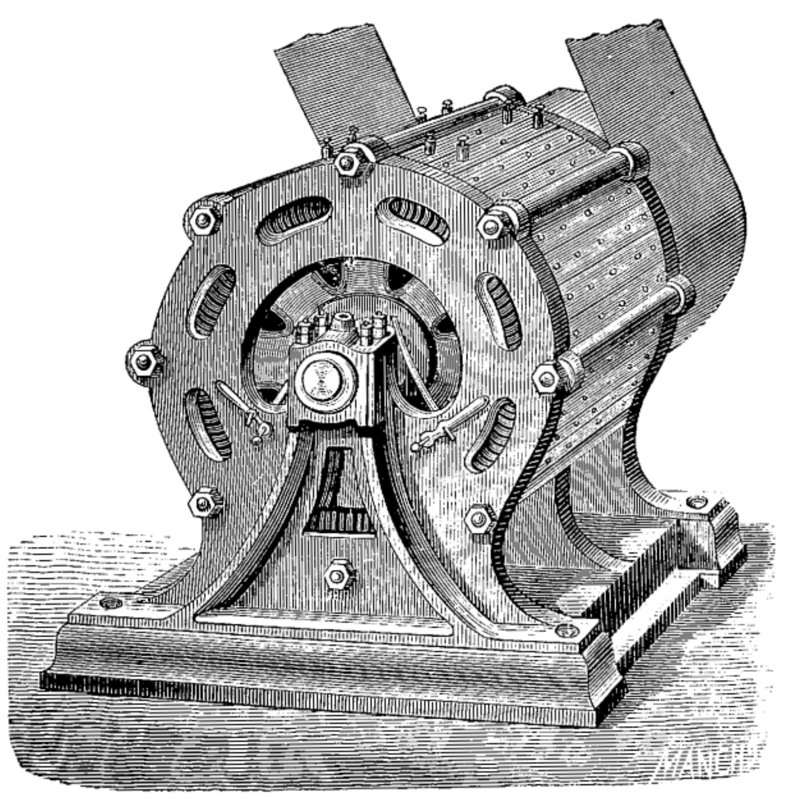


Fig. 61.

El electro-iman excitador se pone en movimiento por un motor cualquiera, y sus armaduras de hierro, que pasan muy cerca de las espiras de cobre, hacen nacer en ellas una corriente eléctrica, tanto más poderosa cuanto más fuerte es la potencia magnética del electro-iman y mayor la velocidad de rotacion, cuyo sentido cambia á cada instante, en razon á que los polos del inductor son alternativamente de nombre contrario.

Recordando la teoría de la induccion, se comprende que las corrientes engendradas en las bobinas son de intensidad variable con la posicion de éstas respecto á las armaduras, pero esta intensidad es constante en las bobinas para una misma posicion, de lo que resulta que para obtener cuatro circuitos de tension basta reunir entre sí las ocho bobinas primeras de cada serie, luégo las ocho segundas, las ocho terceras, y en fin las ocho últimas. La toma de corrientes se hace, ó directamente sobre las bobinas fijas, ó mejor en botones exteriores donde se reunan los diversos hilos de una misma serie.

Resultados análogos á la máquina de Gramme proporciona la de corriente contínua últimamente ideada por Siemens y Hafner-Alteneck, que goza de gran popularidad en Inglaterra: se compone, fig. 62, de una armadura de gran diámetro y bastante longitud, formada por un cilindro de cobre que lleva en su interior una armazon de hierro terminada por láminas arqueadas del mismo metal, dando frente á los polos magnéticos del inductor, cuya potencia sobreexcitan; sobre el cilindro y paralelamente á su eje se arrollan cuatro madejas de alambre aislado de cobre, asociadas en tension y comunicando, por medio de tiras metálicas á que se atan sus cabos de enlace, con una serie de placas dispuestas alrededor de un manguito de materia aisladora fijo al eje de rotacion del cilindro; las corrientes inducidas, debidas á la accion dinámica, se recogen y trasmiten por medio de frotadores de hilo metálico dispuestos como en las máquinas de Gramme.

Esta armadura gira entre unas planchas encorvadas de hierro dulce, prolongacion de las extremidades polares de dos electro-imanes anchos y planos situados á uno y otro

lado de ella, opuestos por sus polos del mismo nombre é intercalados en el circuito general de la corriente, con lo que se circunscribe y refuerza la accion inductora: las pro-

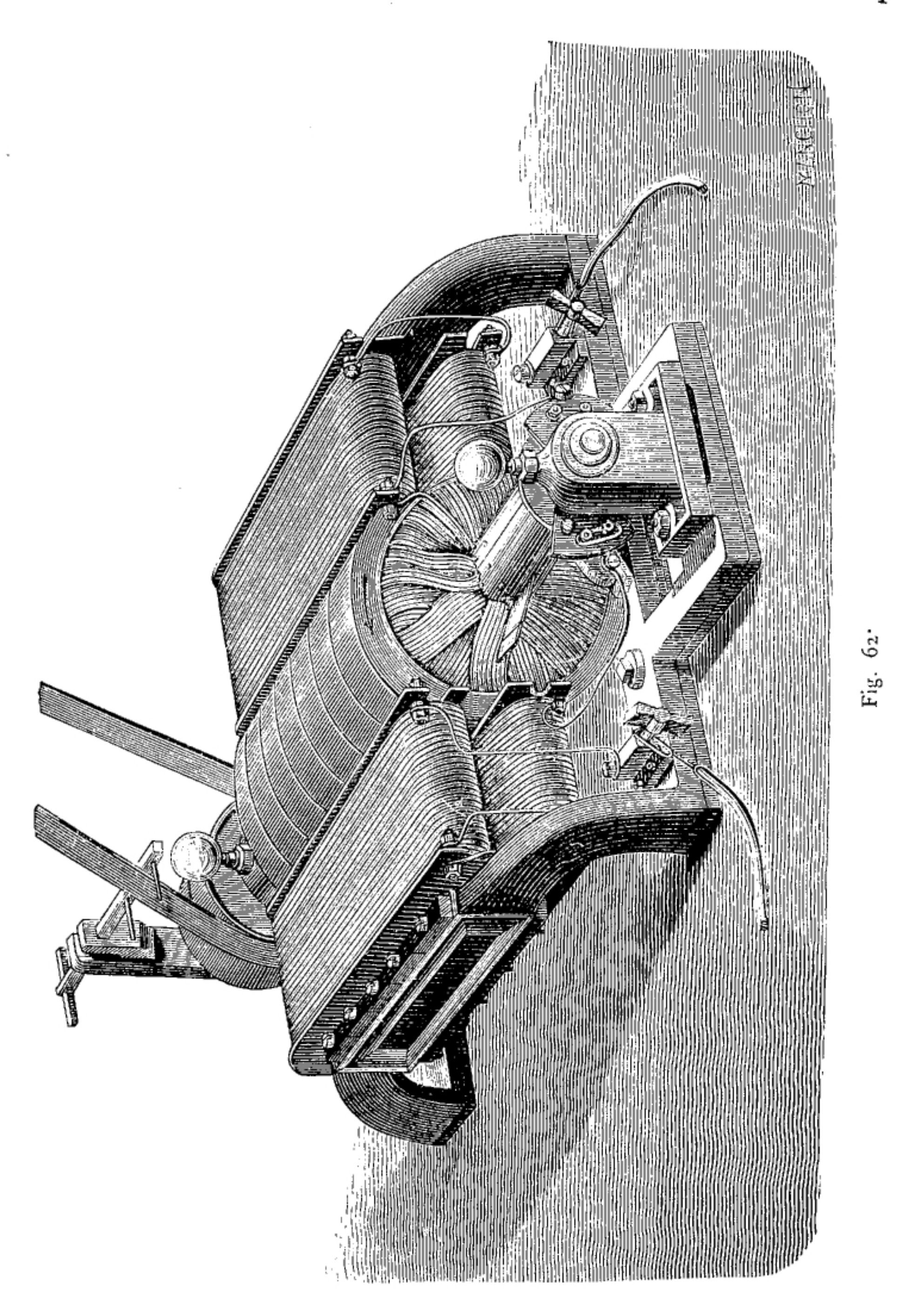


Fig. 62.

longaciones polares presentan cierto número de ranuras para facilitar las desimanaciones. El cambio de direccion de las corrientes se verifica en medio del espacio interpolar, sin

que en el efecto producido entren para nada las corrientes de interversion polar. Por una permutacion de hilos y una simple inclinacion, en un sentido ó en otro, de una especie de báscula á que están sujetos los frotadores ó escobillas, se obtienen las corrientes inducidas en el sentido que se quiera, pero siempre en la misma direccion con respecto al circuito.

La máquina de Bauer y Haebe, la más usada en Alemania, se reduce á una armadura de Gramme, que gira dentro de una caja cilíndrica de hierro dulce, formada por

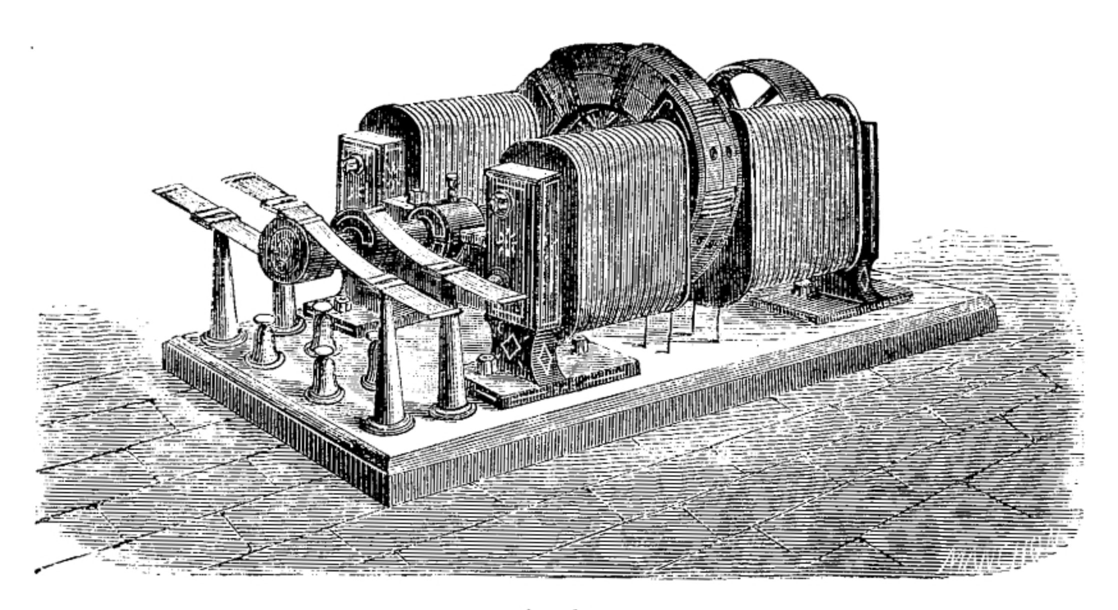


Fig. 63.

la expansion exterior de las extremidades polares de los imanes excitadores, quedando sólo dos pequeños intervalos de polo á polo. En todo lo demas es una máquina de Gramme.

La de Brush, fig. 63, consta de dos electro-imanes de forma de herradura, opuestos polo á polo, y entre los que gira una armadura circular de hierro dulce que lleva ocho madejas de alambre de cobre aislado, que no la cubren del todo, unidas cabo á cabo las opuestas. Los alambres terminales se llevan á un conmutador-inversor, necesario porque las dos mitades de la armadura se hallan polarizadas unifor-

memente, y en él se toman las corrientes inducidas por medio de cuatro frotadores.

La disposicion de la máquina es tal, que en cualquier momento hay tres pares de madejas interpuestas en el circuito. Marcha á gran velocidad y es muy usada en los Estados-Unidos.

Tambien lo es la de Wallace-Farmer, fig. 64, que tiene dos electro-imanes opuestos por los polos de nombre con-

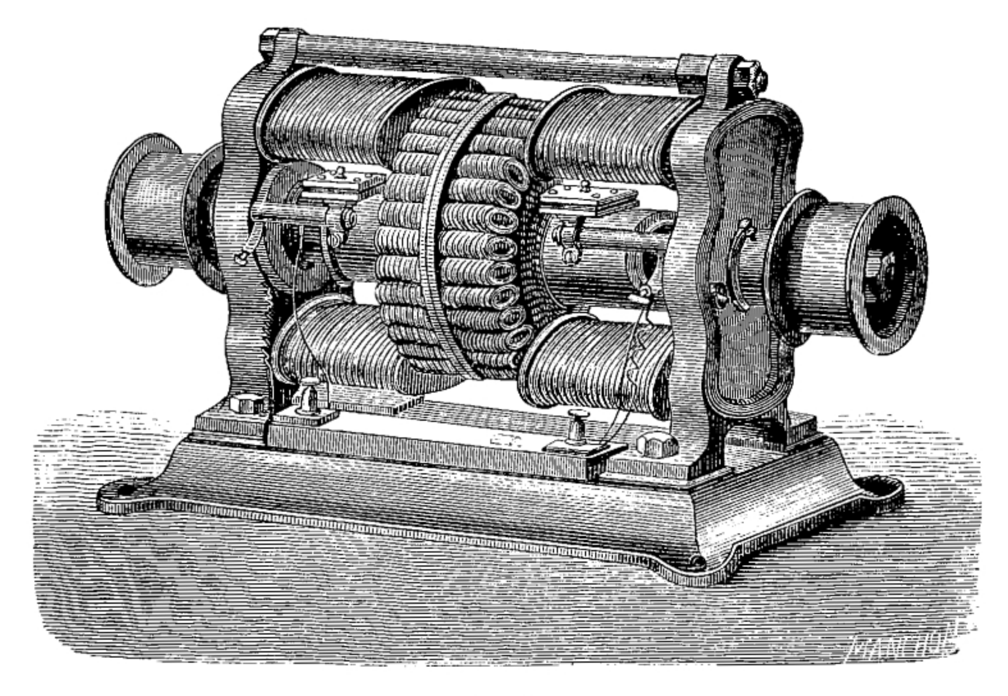


Fig. 64.

trario, entre cuyos brazos, y atravesando los montantes ó soportes verticales, está el eje que lleva la armadura giratoria, consistente en un disco de fundicion, guarnecido normalmente á sus caras y cerca de su periferia, de bobinas cuyos alambres se enlazan á un aparato colector como el de la máquina de Gramme y de la misma manera. Al girar la armadura pasan las bobinas entre los polos opuestos de los electro-imanes, y la corriente nace del cambio de polaridad del núcleo de hierro dulce de las bobinas.

Las tres máquinas que acabamos de describir son de corriente contínua.

De Meritens ha construido una de corrientes alternantes y de division de la luz, combinacion de las de Gramme y L'Alliance, cuyo especial carácter es no necesitar conmutador ni colector; y Jablochkoff, otra de la misma clase, que funciona en sus talleres, relativamente enérgica y fácil de limpiar, pero que necesita tomar la corriente in-

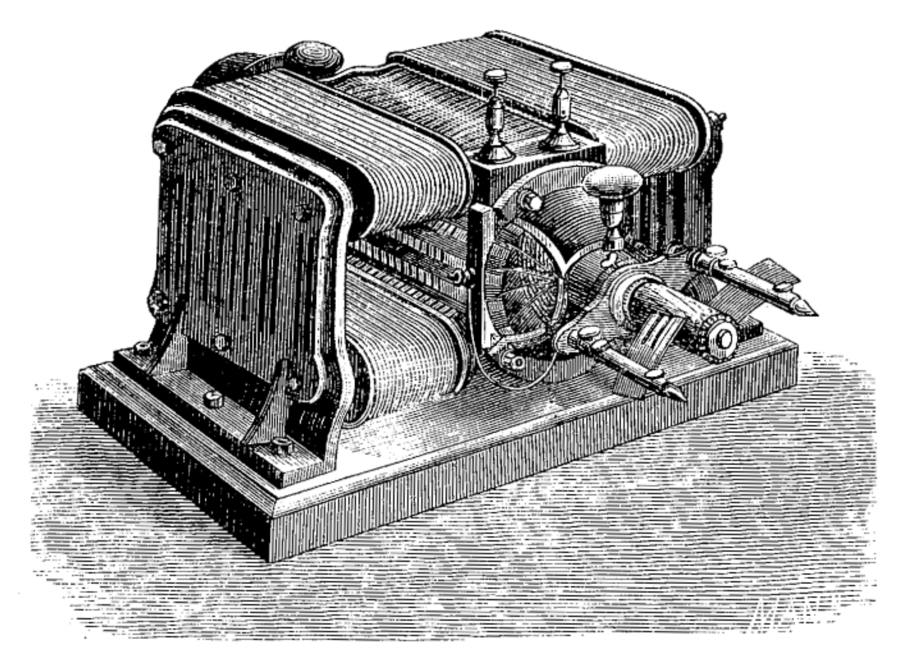


Fig. 65.

ductora de una pequeña máquina de Gramme de corriente contínua.

Al propósito de reducir en lo posible la elevacion de temperatura ocasionada por la circulacion de las corrientes y por el trabajo de estas máquinas, obedece la construccion de la de Weston, fig. 65.

Se compone de dos soportes verticales que mantienen en posicion horizontal dos electro-imanes fijos, entre cuyos polos, prolongados por planchas encorvadas de hierro, gira una armadura de madejas de alambre aislado arrolladas so-

bre delgados listones de hierro, unidos por brazos radiales á un tubo central que recibe el eje de rotacion.

Los montantes verticales, los polos y almas de los electro-imanes fijos y el tubo central llevan ranuras, por las cuales circula el aire que penetra alrededor del eje y es lanzado hácia la periferia por la fuerza centrífuga; así se consigue que la temperatura no exceda de unos 48° C. (120° Far.), aunque la máquina trabaje diez ó doce horas y á gran velocidad.

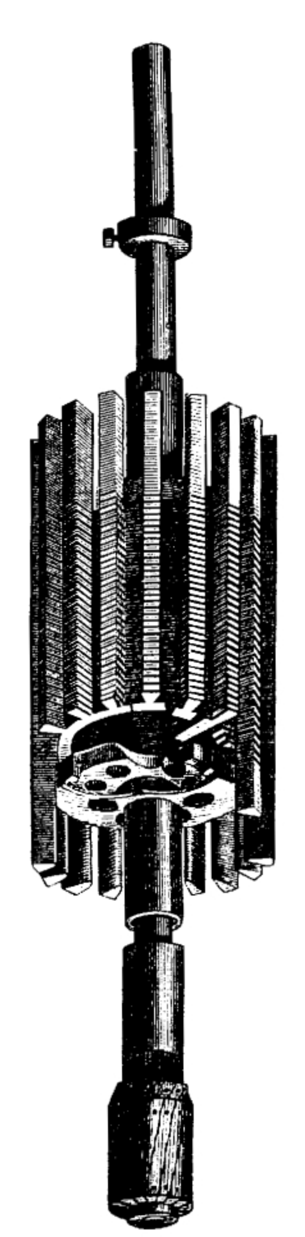


Fig. 66.

La fig. 66 da idea de la disposicion del eje-armadura de la máquina.

Los colectores, que son de hilo de cobre plateado, van en un collar que se sujeta con un tornillo al eje de la armadura, y que puede moverse de modo que aquéllos recorran desde el punto de máxima hasta el de mínima intensidad de la corriente, pudiéndose por tanto disminuir ésta cuanto se quiera y regular la suministrada á una lámpara.

Para obtener muchas luces (se han sostenido hasta cinco) con una sola de estas máquinas, se arrollan á las almas de los electro-imanes fijos, separadamente y en madejas de igual número de vueltas, varios alambres, cada uno de los cuales se enlaza á un círculo exterior independiente, lo que se consigue reuniendo sus extremos en dos torzales y llevando el uno á un colector y el otro á un boton, al cual se atan tambien, por uno

de sus extremos, los alambres del circuito exterior; éstos por el otro extremo se trenzan en un torzal sujeto al segundo colector, y con esta ingeniosa disposicion se evita el empleo de colectores separados para cada circuito.

El alambre de la armadura se lia tambien en dos secciones, que se enlazan juntas al receptor de corrientes y se opone á la produccion de las rotatorias una ranura longitudinal que aquélla tiene.

Terminarémos lo relativo á máquinas magneto-eléctricas con las noticias que hemos podido adquirir respecto á la inventada por Mr. Edison. Consiste esencialmente en un gigantesco diapason, cuyas ramas tienen dos metros de longitud y el volúmen correspondiente.

Como un cuerpo elástico de gran masa cuando entra en vibracion persiste en ella cierto tiempo, en virtud del principio de la conservacion de la energía, y como con escasa potencia puede restituírsele el movimiento alternante que pierda por resistencias y rozamientos, si se arman imanes permanentes ó electro-imanes en las ramas del diapason, y frente á ellos bobinas de induccion, al vibrar aquél se producirán en éstas corrientes inducidas y opuestas al acercarse ó alejarse de ellas los electro-imanes. Como las vibraciones se irán acortando á medida que el movimiento se trasforme en electricidad, se restituye á las ramas del diapason una vibracion igual á la consumida por medio de pequeñas máquinas de vapor, gas, aire comprimido ó agua, cuyas impulsiones deben ser isócronas con las vibraciones de las ramas, y de este modo el movimiento será constante, y tambien lo será la corriente eléctrica engendrada por la máquina.

Como datos para apreciar el valor relativo de los más usados de estos aparatos, tenemos, primero: respecto á las

máquinas de Gramme, Brush y Wallace-Farmer, el informe dado por una Comision del Instituto de Franklin (Nueva York), á consecuencia de ensayos comparativos hechos en Mayo y Junio de 1878; segundo: el que Tyndall y F. N. Douglas presentaron á la Corporacion de Trinity House, resultado de los experimentos verificados en Inglaterra en 1877 con las de Gramme y Siemens; y tercero: la comparacion hecha en Francia entre las de Gramme y L'Alliance, amén de los experimentos exclusivos á la primera de éstas.

Las conclusiones del primer informe fueron que la máquina de Gramme era la más económica, dando en el arco voltaico un efecto útil igual al 38 por 100 de la fuerza empleada; el modelo mayor de la de Brush sólo llegaba al 31, y el pequeño á 27 por 100. La de Wallace y Farmer quedaba por bajo de la anterior, aunque desarrollando en corto tiempo un gran trabajo eléctrico.

Los experimentos ingleses demostraron que, para producir la misma luz, una máquina de Siemens (modelo pequeño) pesa 150 kilógramos, y una de Gramme, 1250; exige la primera 3'3 caballos vapor de fuerza, y 5'5 la segunda; siendo la luz producida respectivamente por caballo, de 2080 y 1257 bujías, ó sean 297'14 y 179'57 mecheros Carcel, estando el precio en la proporcion de 100 á 320. Es decir, que un aparato Gramme pesa más que ocho Siemens de igual poder, consume próximamente doble fuerza motriz y cuesta tres veces más. A pesar de lo desfavorables que les fueron los resultados, los representantes franceses no pudieron ménos de confesar el cuidado é imparcialidad con que se habian hecho las pruebas.

Debe tenerse en cuenta, sin embargo, para decidir sobre

el valor relativo de estos dos aparatos., que las máquinas de Gramme ensayadas fueron las del modelo de 1873, y que las de 1876 dan resultados que las colocan en primer lugar; pues, segun experimentos practicados en Francia, con un peso de 175 kilógramos y una fuerza motriz de 2'50 caballos se obtiene una luz equivalente á 1719 bujías, ó sean 245'57 mecheros Carcel por caballo, no costando la máquina sino 1500 francos en vez de 8000, precio de la de 1873.

En cuanto á las de L'Alliance, resulta, segun consigna M. Fontaine, que las de Gramme son cuarenta veces más ventajosas que ellas, si se atiende al peso, cien con relacion al volúmen, y diez y seis en coste.

CAPÍTULO III.

LAMPARAS DE ARCO VOLTAICO.

Obtencion de la luz eléctrica.— Alumbrado por el arco voltaico.— Empleo de carbones de retorta y de carbones artificiales.— Poder luminoso y gasto ó consumo por hora de los principales carbones.— Medios de corregir el exceso de brillo, tinte azulado é irregularidad de la luz eléctrica.— Lámparas de arco voltaico y regulador; descripcion de las de Foucaul-Duboscq, Serrin y Rapieff.— Luz condensada.— Noticia de instalaciones españolas de alumbrado eléctrico con reguladores.— Alumbrado de arco voltaico sin regulador; bujías Jablochkoff.

Tenemos ya el modo de proporcionarnos una corriente de la intensidad y tension necesarias para la produccion de la luz eléctrica; vamos ahora á ver los medios de obtener ésta prácticamente. Tres son los conocidos en el dia; el primero, que es casi exclusivamente el puesto en práctica, consiste en hacer brotar entre dos electrodos de carbon una serie de chispas que forman un foco deslumbrador, llamado, como hemos dicho ya, arco voltaico; el segundo, en hacer pasar por un tubo de Geissler la corriente inducida del aparato Ruhmkorff; y el tercero, en producir la candencia del carbon, de un metal ó de ciertas sustancias refractarias, mediante la accion de la corriente eléctrica; método al que acudirémos en demanda de solucion para una de las partes más interesantes del problema de que tratamos.

Táchase generalmente al primero de estos medios de dar sólo grandes focos de luz y no ser ésta divisible sino en muy corta escala; el segundo, por el contrario, produce una luz tan débil, que hoy carece de aplicacion doméstica é industrial, y apénas tendrémos ocasion de hablar de él; en cuanto al tercero, al cual no pueden hacerse iguales objeciones, ha tenido en su contra, hasta hace muy poco, lo complicado de los aparatos, y su débil rendimiento con relacion á la potencia de las pilas ó máquinas magneto-eléctricas empleadas.

En el estudio que de ellos irémos haciendo sucesivamente, verémos, al considerar las invenciones recientes, cuanto hay que modificar el juicio anterior, hasta hace muy poco admitido sin contradiccion.

El alumbrado eléctrico, y particularmente el de arco voltaico, data del famoso descubrimiento de Davy, que dejamos referido, y que hubiera quedado reducido á un experimento de gabinete de Física, pues la rapidez con que se consumian los carbones de madera que empleaba no permitia ni por un momento pensar fuera el orígen ó principio de un nuevo sistema de iluminacion artificial, si Foucault no hubiera tenido en 1844 la idea de reemplazar el carbon de madera con trozos del que se deposita en el interior de las retortas de fabricacion del gas, que es más denso y se consume con ménos rapidez que el primero. Pero si los carbones de retorta dan excelentes resultados respecto á duracion, tienen tambien graves inconvenientes; su compacidad no es uniforme, se rompen y estallan algunas veces, se consumen irregularmente, y producen variaciones de brillo bastante considerables, debidas principalmente á las sales alcalinas ó terrosas, ó á las cantidades notables de sílice que

contienen; sustancias que emiten vapores de los que en gran parte está formada la llama que rodea el arco voltaico, y que tienen un poder irradiante muy variable.

Para remediar estos inconvenientes se ha propuesto y ensayado sustituir los carbones de retorta con aglomerados análogos, pero más puros, ó simplemente purificar aquéllos, y se han obtenido sustancias recomendables dada la luz obtenida, pero sumamente caras, lo que hace sean casi inaplicables; tales son, entre otros, los carbones de Staite y Edwards, mezcla de cok y azúcar; de Le Molt, compuesto de carbon de retortas, carbon de madera ó cok y brea; de Curmer, aglomerado de negro de humo, benzina y esencia de trementina, embebido de resinas ó materias azucaradas; Jacquelain, carbon de brea purificado y obtenido como el de retortas; de Peyret, de médula de saúco impregnada de azúcar fundido y sometido, despues de sufrir la accion del calor, á una corriente de sulfuro de carbono; de Archereau, carbon aglomerado y comprimido, mezclado con magnesia; de Lacassagne y Thiers, purificacion de los de retorta, por digestion en un baño de potasa ó sosa fundidas; de Carré, compuesto de cok en polvo muy fino, casi impalpable (quince partes), negro de humo calcinado (cinco partes), y jarabe de azúcar de caña y goma (siete á ocho partes), y de Gaudoin, obtenido por la descomposicion en vasos cerrados de las breas secas, grasas ó líquidas, alquitranes, resinas, betunes, esencias y aceites naturales ó artificiales; sustancias todas susceptibles de dejar carbon puro; y áun simplemente por la carbonizacion de madera seca, bien escogida y tallada en la forma que han de conservar las barritas. Sería muy largo, y ajeno á nuestro objeto, entrar en detalles acerca de la fabricacion de estos carbones y dar cuenta del resultado,

no del todo satisfactorio, de añadirles sales metálicas; sólo dirémos que los dos últimos se consideran superiores á todos los demas, especialmente los de Gaudoin, si bien los de Carré, por más baratos, son más usados; y que de las experiencias practicadas por Fontaine con el concurso de Gramme y Lemonnier, en 4 de Abril de 1877, trabajando con una máquina de Gramme y con un regulador de Serrin, aparato de que hablarémos luégo, resulta una luz media de 120 mecheros Carcel con los carbones de retorta, 173 con los de Archereau, 175 con los de Carré, 203 con los de Gaudoin (primer tipo), y 240 con los mismos de aglomerado de carbon de madera (segundo tipo).

El gasto de los carbones, á seccion igual, de 0^{m2},0001, fué por hora de 0^{m},044 en los de Carré; 0^{m},49 en los de retorta; 0^{m},053 para los de Archereau; 0^{m},061 para los de Gaudoin, segundo tipo; y 0^{m},078 para los del primero. Con relacion á la luz producida, este gasto era por cien mecheros Carcel de 0^{m},032 para los de Gaudoin, segundo tipo; 0^{m},039 en los de Archereau; 0^{m},040 en los de Carré; 0^{m},040 en los de Gaudoin, primer tipo; y 0^{m},050 en los de retorta.

Respecto al brillo, fijeza y regularidad de la luz, la ventaja estaba de parte de los de Gaudoin; pero teniendo en cuenta todas las circunstancias, principalmente la de coste, hay que atenerse hoy por hoy á los de retorta, que bien escogidos, dan resultados muy satisfactorios en la mayor parte de los casos.

Pero si la buena eleccion y mezcla de los carbones puede, si no hacer desaparecer, disminuir los centelleos, intermitencias y oscilaciones de la luz eléctrica, hay que recurrir á otros medios para corregir lo que en el brillo hay de

excesivo, de ingrato á la vista en el color y de irregular en la marcha.

No puede negarse que el brillo de la luz es excesivo, pues si en ella se fija la vista, se sufre una impresion análoga á cuando se mira al sol cara á cara; pero nada más fácil que rebajar este brillo al punto que se quiera; basta cubrir la llama con un globo de porcelana ó cristal deslustrado, que recibiendo los rayos emitidos, los disperse, haciendo ménos opacas las sombras y más dulce, homogénea y agradable la luz. Como nada limita la magnitud y grueso del globo, nada limita tampoco la reduccion: es verdad que este procedimiento absorbe y aniquila, segun el globo empleado, del 10 al 50 por 100 de la luz emitida; pero, dada la riqueza del manantial, poco significa la pérdida.

Anteriormente dijimos á qué era debida la tinta azulada que se nota en esta clase de luz, y que podia privarse á los rayos eléctricos del exceso de azul y violeta de que adolecen. Ahora vamos á indicar la manera de hacer esta correccion.

Si sobre el espectro solar se extiende con un pincel una disolucion de sulfato de quinina, ningun cambio se nota en la parte correspondiente á los rayos infra-rojos y rojos; mas á partir de los azules, aparece bajo el pincel una tinta blanquecina, que toma más fuerza en los violetas y ultra-violetas. Tenemos con esto un medio de cambiar en luz blanca estos rayos, cuyo exceso tanto perjudicaba en la luz eléctrica, y lo que es más, el de utilizar, haciéndolos perceptibles, los que por muy refrangibles se escapaban á la vista; basta hacerlos filtrar, ya por la disolucion dicha, ya por una simple infusion de corteza de castaño de Indias, ó emplear los vidrios de urano ú otras várias materias, que gozan de igual propiedad que el sulfato de quinina.

Hemos visto que los carbones se consumen porque arden y porque el paso de la corriente trasporta su materia de un polo á otro ó la esparce alrededor; de aquí el que la distancia entre sus puntas aumente paulatinamente, y que llegue un momento en que la tension no sea bastante á salvar el espacio intermedio y el arco se extinga. Para corregir tan grave inconveniente, fué necesario buscar un medio de mantener igual la separacion de los carbones, aproximándolos constantemente para compensar su desgaste y conseguir que la luz conserve siempre la misma intensidad, y, por tanto, la deseada regularidad.

Muchos son los reguladores ó lámparas de arco voltaico ideados desde que Foucault presentó una en que la regulacion se hacía á mano y que sirvió á Deleuil para hacer en 1844 ensayos de alumbrado eléctrico en la plaza de la Concordia de París. La descripcion de tales aparatos ocuparia muchas páginas y no es de este lugar; baste decir que los más conocidos y estimados de Archereau, Way, Girouard, Gaiffe, Carré, Lontin, Gramme, Lacassagne y Thiers, Foucault y Duboscq, Siemens, Hafner-Alteneck Brush, Serrin, Wallace-Farmer, Rapieff, Weston, etc., aunque difieren en los detalles, concuerdan en el principio fundamental de servirse de la corriente misma para arreglar la separacion de los carbones, medio imaginado por Foucault, en Francia, y Staite y Petrie en Inglaterra en 1848, y basado en que la imanacion en los electro-imanes se debilita y desaparece cuando la corriente eléctrica disminuye ó se anula, y en que el arco voltaico, como parte del conductor, reacciona sobre la corriente, conservándole una gran parte de la intensidad para una separacion determinada de los carbones, y anulándola completamente cuando ésta es demasiado

grande. En pocas palabras puede exponerse el sistema empleado: un mecanismo de resorte tiende á aproximar los carbones sujetos entre piezas de metal; en cuanto se tocan, la luz brota y la corriente pasa, recorriendo en su trayecto las espiras del alambre de un electro-iman, que entónces atrae una palanca, cuyo movimiento antagónico al del resorte separa los carbones para desarrollar el arco: conforme se van usando éstos aumenta el intervalo que los separa, la corriente pierde fuerza, el electro-iman no puede contrarestar la accion del resorte, y las barritas se aproximan: al llegar á la distancia conveniente, la corriente circula de nuevo con suficiente intensidad para que, recobrando fuerza el electro-iman, vuelva á actuar la palanca.

Los reguladores que más aceptacion han tenido, y que pueden tomarse como tipos, son el de Foucault y Duboscq ó el de Serrin.

El primero se compone de un electro-iman, cuya accion se contraresta por un resorte en espiral; este iman atrae una planchuela de hierro, cuando la corriente es de suficiente intensidad, la que sabemos varía con la separacion de los carbones, ó la abandona, vencido por el resorte, cuando la corriente disminuye ó cesa; á la planchuela va unida una varilla oscilante, que moviéndose á derecha ó izquierda, permite ó detiene, segun se necesite, el juego de dos aparatos de relojería de movimiento inverso, los cuales, por medio de ruedas dentadas de diferente diámetro en la relacion de dos á uno, hacen subir ó bajar los porta-carbones terminados en cremallera. Esta lámpara tiene la ventaja de poder funcionar en todas posiciones.

En el regulador ó lámpara de Serrin el carbon positivo desciende por efecto del peso de la varilla en que va colocado,

trasmitiendo al porta-carbon negativo, por medio de un sencillo mecanismo, la cantidad de movimiento precisa, pero en sentido ascensional. Desde que la corriente circula, un doble paralelógramo articulado, una armadura de hierro dulce, un electro-iman y varios resortes mantienen la separacion conveniente entre las puntas de los carbones. El principal inconveniente de este aparato, que, por lo demas, llena con más precision que cualquiera otro las condiciones de un buen regulador, es que no puede funcionar horizontalmente ni muy inclinado.

Como en las dos lámparas de regulador que acabamos de describir hay que interrumpir la corriente siempre que por cualquier causa se necesita reemplazar un carbon por otro, para evitar esta interrupcion, y la consiguiente extincion de luz, el ruso Rapieff ha presentado una lámpara con cuatro barritas de carbon dispuestas dos á dos en forma de V, entre cuyos ápices, concurrentes á un centro comun, se produce el arco voltaico; un regulador automático electro-magnético mantiene invariable la distancia entre dichos ápices, obteniéndose una intensidad luminosa de cinco á doscientos mecheros de gas, y pudiéndose quitar uno de los carbones y sustituirlo por otro sin que el arco cese.

Terminarémos lo referente á reguladores diciendo que, empleando máquinas de corriente contínua, y cuando se quiere trasmitir la luz preferentemente en una direccion determinada, deben colocarse los carbones de modo que el eje del inferior, negativo, esté en la prolongacion de la cara del superior, positivo, que da frente á la parte que se quiere alumbrar; la concavidad que se forma en el positivo hace veces de reflector, teniendo la luz emitida en estas condiciones, llamada por los ingleses *condensada*, un

considerable aumento de intensidad en el sentido deseado.

Sería muy largo, y tan sólo propio de obras especiales, enumerar y describir las instalaciones de alumbrado eléctrico con regulador que hoy existen en Europa y América, y sólo indicarémos que en España se ha planteado en la fábrica de tejidos de algodon de los Hijos de Ricard, en Manresa, donde con tres lámparas se alumbran los talleres, cuya superficie pasa de 1000 metros cuadrados, y en donde funcionan quince tejedoras *Self-acting*. La máquina de Gramme gira con ayuda del mismo motor de la fábrica, funcionando desde Mayo de 1876.

Tambien en la fábrica de paños de los Sres. Buxeda hermanos, de Sabadell, se emplea desde hace dos años el alumbrado eléctrico con tres lámparas de Serrin, para un taller de 58 metros de largo por 22 metros de ancho, donde trabajan dia y noche trece máquinas de hilar, doce cardas, un batan y algunos otros aparatos accesorios: á pesar de usarse un motor especial para el alumbrado, sale éste mucho más económico que el gas ó el petróleo, y con la ventaja sobre ellos de poder apreciar exactamente los colores.

Por fin, en la fundicion de Miéres, en Astúrias, se trata de plantear el alumbrado eléctrico con máquinas de Gramme y cuatro lámparas Serrin, que se han considerado necesarias para iluminar debidamente un taller lleno de aparatos diversos, y de 52^{m} de largo por 26 de ancho.

Por grande que sea el esmero en la construccion de los reguladores, no se obtiene sino de un modo incompleto la solucion del problema de igualdad en la luz eléctrica; pues quedando en reposo los carbones miéntras su distancia no pasa de cierto límite, la luz disminuye sucesivamente, porque la corriente se debilita, hasta que de pronto se verifica

una aproximacion brusca, y por tanto una modificacion súbita de la luz, que repetida una y otra vez constituye un efecto desagradable y un verdadero inconveniente para su empleo. Si á esto se agrega lo delicado y costoso de los aparatos, se comprenderá la importancia que tiene para la generalizacion del nuevo sistema de alumbrado la invencion dada á conocer en 1876 y debida al antiguo oficial de ingenieros ruso M. Jablochkoff.

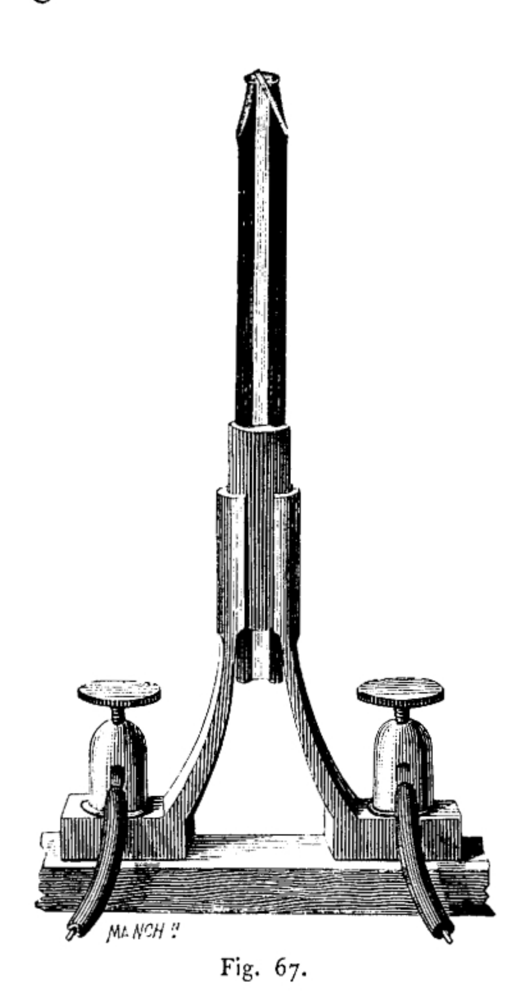


Fig. 67.

El sistema ideado por éste es de una sencillez sorprendente : suprime el regulador y consigue que entre los carbones medie constantemente el intervalo preciso, colocándolos paralelamente el uno al lado del otro á una distancia que depende de la intensidad de la corriente eléctrica, separados y envueltos á la vez por una sustancia aisladora suficientemente dura para impedir todo movimiento en los carbones y dar al conjunto el aspecto de una vela, de donde viene el nombre de bujía eléctrica ó de Jablochkoff con que se conoce, fig. 67.

Las extremidades inferiores de dichos carbones penetran en dos tubos de laton aislados, uno de otro, que sirven para establecer las comunicaciones eléctricas, y las superiores quedan á descubierto, una frente á la otra, estando enlazadas por un cebo que sirve para encender la bujía, y

consiste en una barrita de carbon atada con un hilo de amianto, ó mejor una pasta de polvo de plombagina amasada en goma disuelta en agua, con cuya mezcla se cubre el extremo de la bujía. La sustancia aisladora fué en un principio el kaolin; hoy es una mezcla de yeso y sulfato de barita, con lo que la luz ha duplicado sin aumento de fuerza motriz.

El arco voltaico se forma entre las dos extremidades libres de los carbones, gracias al cebo conductor, en cuanto se ponen las inferiores en comunicacion con la corriente eléctrica; la materia aisladora interpuesta se calienta, se funde, se volatiliza en parte, y hace el espacio comprendido entre los carbones más conductor que en el sistema de reguladores; ademas, la misma sustancia aisladora se hace conductriz cuando entra en fusion, y disminuye la resistencia del arco voltaico, permitiendo así la colocacion de várias bujías en el mismo circuito.

La luz de la bujía Jablochkoff es fija, carece de rayos divergentes y envuelve las puntas enrojecidas de los carbones con una llama blanca, que emite una luz susceptible de difusion, que desvanece y suaviza las sombras, haciendo soportable á la vista el foco luminoso.

Las bujías empleadas en el dia, gracias á las mejoras verificadas en su calidad y procedimientos de fabricacion, duran hora y media.

El principal inconveniente que hoy por hoy presenta el sistema Jablochkoff depende de la imposibilidad de restablecer la luz cuando por cualquier motivo se ha extinguido en una bujía, pues falta la sustancia fusible y conductora que una los carbones.

El empleo de máquinas electro-dinámicas, de corrientes

alternantes, permite hacer las bujías con carbones iguales, miéntras que para las de corriente contínua, ó tendria que ser el positivo de seccion doble de la del negativo, lo cual es más costoso y difícil, y sin tener seguridad de buen resultado, pues el consumo de los carbones no está rigurosamente determinado, ó habria que ponerles un conmutador automático, que rara vez funciona bien.

Las bujías se colocan en un soporte de ónix ú otra sustancia algo trasparente, donde se apoyan una especie de candeleros metálicos con una pinza por boca, á fin de conseguir buenos contactos. Cada soporte tiene generalmente cuatro candeleros ó bujías y cinco tornillos ó botones para enlace ó insercion de los alambres que llevan á las bujías la corriente; el central está unido á uno de los polos de la máquina y á las partes internas de las pinzas, y los otros comunican sucesivamente con el otro polo por medio de un conmutador, que puede y debe ser automático; sin embargo, el que está en uso hoy dia se maneja á mano, y consiste en una manecilla metálica que gira al rededor de un eje situado en uno de sus extremos y en el centro de un disco de madera que lleva fijadas circularmente tantas planchitas metálicas como bujías haya en las farolas ó lámparas: como el eje central metálico está relacionado con el polo de la máquina generadora de electricidad, haciendo pasar la manecilla de una á otra de las planchitas se conduce la corriente á la bujía que se quiera. Este conmutador se coloca en el pié del candelabro ó cerca de la máquina de luz.

Un cilindro de vidrio deslustrado rodea la base de las pinzas, y encendida una bujía de cada circuito, cuando se consume se hace comunicar otra con la corriente por medio del conmutador, y así sucesivamente. Los soportes

se adaptan á un candelabro, y se encierra la luz dentro de una bomba ó globo de porcelana ó vidrio deslustrado, fig. 68.

Para el alumbrado Jablochkoff se hizo uso en un principio de las máquinas de L'Alliance; hoy se emplean las de Gramme de corrientes alternantes. Con las del modelo mayor hasta ahora usado se pueden alimentar 16 bujías Jablochkoff, de 100 mecheros cada una, sin más que 16 caballos de vapor de fuerza motriz. Las del segundo modelo sostienen 6 bujías, sin que necesite más que 6 caballos vapor de fuerza motriz. El tercer modelo sirve para cuatro bujías, y necesita 4 caballos vapor.

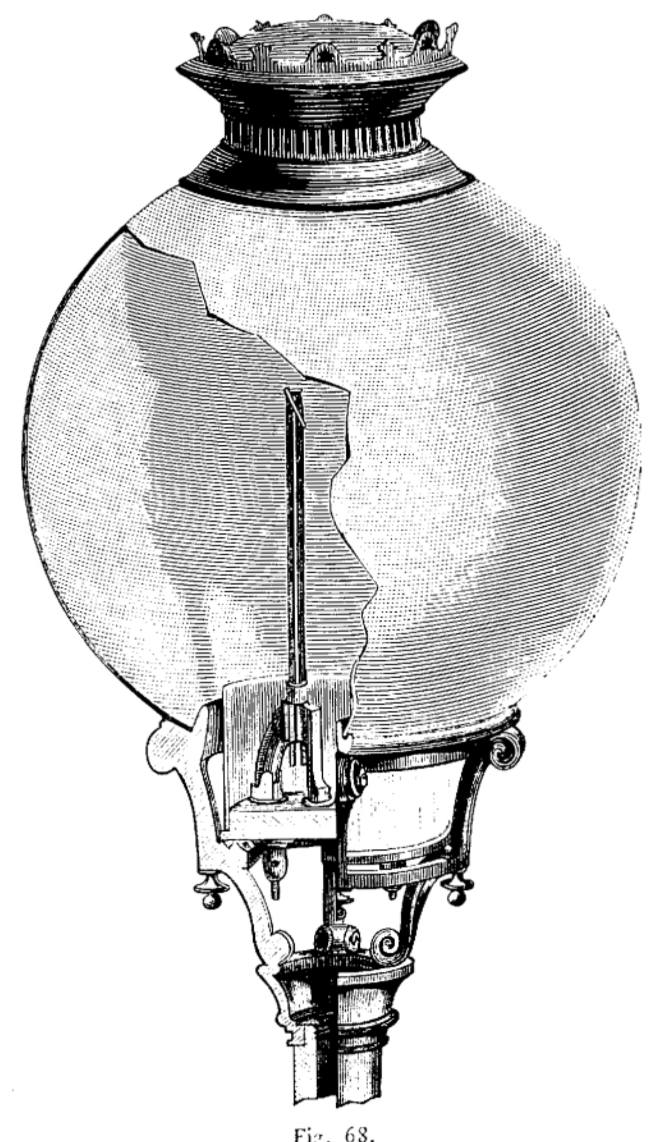


Fig. 68.

Para aumentar á la vez la tension y la cantidad de las corrientes alternantes, y por consiguiente, el poder luminoso de las bujías, ha ideado M. Jablochkoff introducir en el circuito eléctrico condensadores de gran dimension, constituidos, para una serie de cuatro bujías, por una pila de 25 elementos de hojas de estaño separadas con

tafetan engomado, papel impregnado de parafina ú otra sustancia aisladora, componiendo un prisma de unos 0m'75 de alto por 0m'80 de largo y 0m'50 de ancho.

Con estos aparatos, que Jablochkoff llama *excitadores*, no sólo se consigue el efecto dicho, sino tambien el de aumentar ó disminuir á voluntad la luz, para lo que basta interponer en el circuito, por medio de un conmutador, una superficie mayor ó menor de estos condensadores, que facilitan ademas el obtener luces por derivacion de la corriente.

Lógrase tambien sostener ocho bujías en vez de cuatro, sin que disminuyan de intensidad, sobre cada uno de los cuatro circuitos de las máquinas de Gramme; mas en este caso es preciso que el condensador de cada grupo de cuatro bujías tenga gran superficie, para lo que cada elemento debe componerse de 32 hojas de estaño, de las mayores que hay en el comercio.

Dijimos que el inconveniente principal de las bujías Jablochkoff que hemos descrito, era que una vez apagadas no habia medio de encenderlas de nuevo; el inventor ha propuesto, como remedio á este mal, mezclar con la pasta aisladora de yeso limaduras muy finas de cobre, que volatilizándose, ordinariamente, á la vez que la pasta, se depositen cuando la bujía se apaga, formando una capa bastante conductora para que vuelva á brotar la luz siempre que convenga.

Para reducir en lo posible la pérdida de luz ocasionada en el alumbrado eléctrico con el empleo de globos de porcelana ó vidrio esmaltado, se ha ensayado en los almacenes del Louvre, París, sustituir aquéllos por los ideados por Clemandot, formados por dos esferas concéntricas de vidrio transparente, entre las que se pone una masa de cristal hi-

lado y se obtiene una especie de pantalla que tamiza la luz y no absorbe más del 24 por 100 de ésta.

El alumbrado con bujías Jablochkoff se halla hoy planteado en muchos sitios de París; en Lóndres, en el muelle Nuevo, entre los puentes de Westminster y Waterloo; en Madrid, en la Puerta del Sol, y tambien en Bruséla, San Petersburgo, Viena, etc.

CAPÍTULO IV.

COSTE DEL ALUMBRADO DE ARCO VOLTAICO.

Superficie útilmente iluminada por un foco de 100 mecheros Carcel.— Fuerza motriz absorbida por las máquinas de Gramme, L'Alliance y Siemens. — Dificultad de fijar el precio de la unidad de luz eléctrica.—Gasto en la produccion de luz con la pila de Bunsen y las máquinas de L'Alliance, Siemens y Brush.— Idem con las de Gramme de corriente contínua y lámparas de Serrin.—Coste del alumbrado con máquinas de Gramme, nuevo modelo, y carbones de Gaudoin; caso más desfavorable.— Coste comparativo de diferentes luces.— Idem del alumbrado Jablochkoff y comparacion con el gas; informe del Consejo municipal de París.— Principal inconveniente del sistema de Jablochkoff.

Descritas las lámparas de arco voltaico, nos resta presentar algunos datos acerca de la fuerza motriz que esta clase de alumbrado absorbe, su coste de instalacion y sostenimiento, y su comparacion bajo estos puntos de vista con los demas sistemas conocidos.

Empezarémos por dejar sentado que la superficie útilmente iluminada por un foco de 100 mecheros Carcel es diversa segun la naturaleza del trabajo que se intente; puede tomarse como base para un cálculo, en imprentas, fábricas de tejidos, etc., 250 á 500 metros cuadrados; en los talleres de maquinaria, fábricas de papel, azúcar, etc.,

se pueden alumbrar suficientemente de 500 á 1000 metros cuadrados; y en calles, paseos, canteras y trabajos al aire libre, 2000 ó más.

La dificultad de valuar rigurosamente la luz emitida por un foco, y de calcular el trabajo motor en el momento mismo de la experiencia fotométrica, hace que no se hayan obtenido hasta ahora resultados tan precisos y concordantes como fuera de desear acerca del trabajo absorbido por las máquinas de Gramme, de corriente contínua, á pesar de que son las mejor conocidas.

Segun asienta Fontaine en su obra *Eclairage à l'Electricité*, 1877, con una fuerza de tres caballos de vapor pueden obtenerse en las máquinas de Gramme de corriente contínua y con reguladores de Foucault ó Serrin, hasta 600 mecheros Carcel, pudiéndose fijar el trabajo consumido, con seguridad de no pecar por defecto, en medio kilográmetro por mechero Carcel. Sin embargo, las mejoras hechas posteriormente por el inventor en su máquina de taller, parecen dar por resultado que ésta, que en un principio exigia tres caballos vapor para producir una intensidad luminosa de 100 mecheros, pueda dar hoy hasta 450 con dos caballos.

Estos datos representan, como término medio, la fuerza motriz absorbida durante la marcha, pero hay que tener en cuenta que al ponerse en movimiento la máquina de Gramme, durante los primeros veinte y cinco ó treinta segundos, absorbe hasta 67 por 100 más de trabajo, por la resistencia que opone la inercia de la materia y por la fuerza necesaria para que se establezca el régimen de las corrientes y se regulen los carbones.

Las máquinas de L'Alliance, segun Becquerel, consumen

una fuerza de dos y cuatro caballos vapor para producir una luz de 50 mecheros Carcel, es decir, cerca de 4 kilográmetros por mechero.

Las máquinas de Siemens, segun lo que en otro lugar hemos apuntado, vienen á consumir un tercio de kilográmetro por mechero Carcel, y las de Brush, áun cuando inferiores á las de Gramme, no puede admitirse teóricamente que exijan mucho más de medio kilográmetro por mechero, en vista de los datos que expusimos.

Pasando ahora á tratar del precio de la luz eléctrica, dirémos que es casi imposible determinar con exactitud, *à priori*, el de la unidad de luz, porque aumenta conforme disminuye la fuerza de los focos, hasta el punto de que para uno de 500 mecheros la economía sobre el gas es muy considerable, áun no aprovechando sino la cuarta parte de la luz; para 50 mecheros la ventaja está aún por la electricidad; á 20 hay casi igualdad de coste, y para 10 el gas resulta más barato: debe ademas considerarse que la intensidad de la luz disminuye á medida que el foco se aleja de la fuente de electricidad.

En vista de esto tendrémos que limitarnos á consignar los resultados obtenidos en instalaciones bien estudiadas, los que son muy favorables al nuevo sistema de iluminacion.

A pesar de que la pila, desde la invencion de Gramme, es de escaso empleo en el nuevo alumbrado, como hay casos en que todavía no ha podido ser sustituida por las máquinas magneto-eléctricas, que exigen bastante espacio y motor de alguna fuerza, dirémos que, segun Becquerel, los gastos que con ella se ocasionarian para la produccion de la luz, por el consumo de zinc y ácidos, no bajarian de tres pesetas por hora para una intensidad media de 50 mecheros

Carcel, advirtiendo que para obtenerla serian necesarios 60 elementos de Bunsen ó su equivalente en otra clase de pila; es decir, que el coste sería mayor que el del gas.

El gasto en las máquinas de L'Alliance dedicadas al alumbrado industrial, incluyendo el de instalacion, consumo y amortizacion, sería, segun M. Leroux, de 0'034 pesetas por hora y mechero Carcel en el caso en que el motor no tuviera otro empleo, y de 0'024 pesetas si la fuerza motriz se tomase de una máquina poderosa que funcionára para otro objeto; es decir, un valor igual próximamente al del gas en París y la mitad que el del mismo flúido en Madrid.

En Lóndres, donde se usan para el alumbrado eléctrico las máquinas de Siemens, á las que se da un movimiento de 750 vueltas por minuto con un motor Otto, de gas, de fuerza de ocho caballos, se asegura que la luz producida en estas condiciones tiene una intensidad de unas 4000 bujías, próximamente 571 mecheros Carcel, y cuesta, comprendido el consumo de gas, 0'98 de peseta por hora, ó sea 0'0017 por mechero en el mismo tiempo.

Los únicos datos dignos de tenerse en cuenta llegados á nuestra noticia, respecto al coste de la luz eléctrica en América, son los contenidos en el informe de Mr. Robert Brigss e. E. s., de Filadelfia, acerca del alumbrado de la sala de Representantes, con lámparas de regulador y máquinas de Brush. Se habia estado alumbrando la sala por medio de 1228 mecheros, que consumian en total 5500 piés cúbicos de gas por hora, ó sean 150 metros cúbicos. M. Brigss estima, por experimentos hechos en la Estacion del ferro-carril de Pensilvania, en Filadelfia, que 12 lámparas Brush dan igual cantidad de luz que aquel número de mecheros, necesitándose 42 caballos de fuerza para el movimiento de

las máquinas; así resulta el coste siguiente para el alumbrado eléctrico:

	Pesetas.
Por 42 caballos vapor, á 67'50 céntimos de peseta por caballo, y tres horas por dia.	28'00
Sueldo del maquinista.	25'00
Id. de los ayudantes.	12'50
Consumo de carbones en los reguladores.	6'75
20 por 100 del coste de los aparatos (60000 pesetas) en 313 dias, cada dia.	38'25
Total.	110'50

Ahora bien, el gas quemado en tres horas cada dia sube á 16500 piés cúbicos, ó sean 450 metros cúbicos, que al precio corriente en los Estados-Unidos, importan 247'50 pesetas; de modo que áun suponiendo una renovacion completa de la maquinaria en cinco años, el alumbrado eléctrico cuesta sólo la mitad que el del gas.

Pasemos ahora á las máquinas de Gramme, advirtiendo que el inventor aconseja su empleo para los casos en que se tenga que alumbrar un gran espacio y se disponga de un motor poderoso del cual se pueda tomar la fuerza necesaria, sin entorpecer la marcha de la fábrica ó trabajo á que se aplique ordinariamente aquél. De 100 instalaciones, 90 han sido hechas en estas condiciones, y sobre esta base se han fundado los siguientes cálculos:

GASTO DE INSTALACION PARA CADA FOCO LUMINOSO.

	Pesetas.
Máquina de Gramme, tipo de taller.	1500
Lámpara de Serrin.	450
Alambres y transmisiones.	200
Transporte, embalaje, instalacion é imprevistos. . . .	150
Total.	2300

GASTO CORRIENTE POR HORA.

	Pesetas.
Carbon de retorta, cuyo consumo en el regulador puede fijarse en 0m'09, á 2p'50 el metro.	0'21
Carbon para la máquina motriz de vapor.	0'15
Conservacion y servicio.	0'10
Amortizacion de las 2300 pesetas de instalacion, á 10 por 100, repartidas en 500 horas de alumbrado anual, que supone 100 dias de velada á 5 horas, como es lo general en las fábricas.	0'46
TOTAL.	0'92

Si se alumbrase 4000 horas por año, se reduciria el coste á 0'53 pesetas; y si en vez de motor de vapor se emplease uno hidráulico, serian los gastos respectivamente 0'77 y 0'38.

Con las máquinas de Gramme, nuevo modelo de 1877, y carbones de Gaudoin, el coste de la unidad de luz por hora se reduce á lo siguiente:

				Pesetas.
Funcionando	500	horas al año	con máquina de vapor. .	0'0042
Id.	id.	id.	con máquina hidráulica. .	0'0040
Id.	4000	id.	con máquina de vapor. .	0'0016
Id.	id.	id.	con máquina hidráulica. .	0'0011

Todo ello suponiendo que se toma de un motor de gran potencia ya instalado y aplicando á otros usos la fuerza necesaria para el movimiento de las máquinas de Gramme; si no fuese así y hubiese que tener en cuenta la amortizacion del precio del motor, el sueldo del maquinista y fogoneros, el exceso en conservacion y servicio, y se limitase el alumbrado á 500 horas por año, es evidente que el coste sería mayor; pero áun en este caso, que puede considerarse como el más desfavorable, la luz eléctrica costaria anualmente 33 por 100 ménos que la del gas, y

proporcionaria mucha más claridad, suprimiendo todo peligro de incendio.

De los cálculos y experiencias de M. Fontaine resulta que la luz producida por la máquina de Gramme de corriente contínua, y el regulador de Serrin, en el caso más desfavorable, es decir, empleando una máquina de vapor especial y reduciendo á 500 las horas de alumbrado, sale, á igualdad de intensidad:

75 veces más barata que la de una vela de cera;
55 que la de una bujía esteárica;
16 que la de aceite de colza;
13 que la de la pila voltaica;
12 que la de petróleo;
11 que la de gas, á 0^{p}'30 el metro cúbico;
6'50 que la de gas, á 0^{p}'15 el metro cúbico;

y si el motor fuera hidráulico y se emplease la luz 4000 horas por año: 300, 220, 63, 54'5, 49, 40 y 22 veces más barata, respectivamente.

La instalacion de un alumbrado con bujías de Jablochkoff exige, segun hemos visto, una máquina dinamo-eléctrica de corrientes alternantes, productora de las utilizables, cuyos electro-imanes son excitados por otra de corriente contínua.

Las empleadas en el dia son las del sistema Gramme, y el movimiento lo reciben de una máquina de vapor, de gas ó de agua, directamente, ó por trasmision, siendo la máxima fuerza absorbida, en marcha normal, la de un caballo fuerte por cada foco de 100 mecheros Carcel. Las corrientes se llevan á las bujías por medio de conductores de alambre de cobre roseta recocido, guarnecido de goma elástica, y para preservarlos de la humedad se encierran en tubos de plomo, ó se colocan dentro de una cañería de barro,

sosteniéndolos próximamente en el eje por medio de aisladores de loza colocados de 50 en 50 centímetros. Las bujías se fijan en los candeleros que hemos descrito, dentro de bombas de porcelana ó vidrio deslustrado ó de color, para tamizar la luz, y sobre soportes de diferentes formas.

Veamos el coste de la luz, suponiendo un motor de vapor y un alumbrado de seis focos sostenido todo el año seis horas cada noche.

La máquina de Gramme, excitatriz de corriente contínua, tiene 0m'380 de largo, 0m'320 de ancho y 0m'400 de alto: la productriz, ó de corrientes alternantes, 0m'700, 0m'400 y 0m'520 respectivamente; entre las dos pesan, sin embalaje, 320 kilógramos y cuestan 5000 pesetas en París. Para obtener la intensidad de luz indicada arriba es necesario comunicar al aparato excitador una velocidad de 1250 vueltas por minuto, y de 1000 al generador.

GASTO DE INSTALACION.

	Pesetas.
Una máquina de vapor de 6 caballos fuertes (próximamente 7 caballos vapor).	7000'00
Máquinas dinamo-elétricas para 6 focos..	5000'00
Doscientos metros de alambre conductor.	400'00
Diez sujeta-alambres..	7'50
Candeleros y bombas.	1200'00
Tres conmutadores para dos direcciones.	75'00
Transportes y embalajes.	250'00
Gastos de colocacion é imprevistos, 5 por 100. . . .	696'50
TOTAL.	14629'00

Si se añade el coste de algunos trozos de tubos de goma para aislar los sujeta-alambres, y tambien el de las soleras de madera sobre que descansan las máquinas, los pernos, etc., etc., pueden tomarse 15000 pesetas en números redondos

como coste de instalacion, y en este caso, que es el más desfavorable, por suponerse necesaria la adquisicion de una máquina de vapor especialmente destinada al alumbrado, hay

GASTO CORRIENTE POR HORA.

	Pesetas
Bujías (hechas con carbones de Carré), teniendo en cuenta que cada una dura hora y media y cuesta 0pts'75. .	3'06
Carbon para el motor á 2'50 kilógramos por hora y caballo, precio 35 pesetas tonelada.	0'61
Aceite, agua y trapos.	0'25
Maquinista y fogonero.	1'25
Amortizacion del capital de instalacion, á 10 por 100. .	0'68
TOTAL.	6'79

Este es el coste de una luz equivalente á 600 mecheros (*) Carcel, ó sean 540 de gas de 140 litros por hora y mechero; es decir, que por foco hay un gasto de 1p'13 y por mechero Carcel 0'0113 pesetas.

Como 100 mecheros de gas de 140 litros, á 0p'30 el metro cúbico, cuestan 4p'20, el alumbrado eléctrico resulta 3'34 veces más barato que el de gas; y áun teniendo en cuenta la pérdida de luz que produce el globo que rodea el foco eléctrico, el alumbrado con gas sale á más del doble que el obtenido por la electricidad, es decir, que con igual gasto se obtiene una luz considerablemente mayor, si bien no debe perderse de vista que la zona de iluminacion perfecta con un foco eléctrico es de unos 10 metros de radio.

El coste anterior ha sido deducido de los datos facilitados por la Sociedad general de Electricidad—Procedimien-

(*) Téngase presente que esta intensidad corresponde á la luz á descubierto, sin bomba ó pantalla, pues con ésta sufriria una gran reduccion, aumentándose así el coste de la unidad de luz aprovechada.

tos Jablochkoff—domiciliada en París, Rue Drouot, 7, y en contraposicion dirémos que, segun el informe emitido por la Comision tercera del Consejo municipal de París, á consecuencia de una instancia presentada en 20 de Noviembre de 1878 por la Compañía citada, solicitando la concesion del alumbrado de algunas calles y plazas de aquella capital durante tres años, el coste por hora del alumbrado eléctrico en los 62 focos de la Avenida de la Opera, equivalente cada uno á 11 mecheros de gas ó 12'10 Carcel, es el siguiente:

	Pesetas.
Fuerza motriz. .	3'20
Carbon para la máquina motriz.	6'64
Aceite para engrasar.	1'23
Jornales. .	3'20
Sesenta y dos bujías, á 0p'50 una. .	31'00
TOTAL.	45'27

y por foco y hora 0'73 pesetas.

Si la Sociedad de electricidad consiguiese, como espera, reducir el consumo de fuerza por foco á 0'33 de caballo vapor, en vez de 1'25 hoy necesario, el coste de la luz sería:

	Pesetas.
Fuerza motriz. .	0'845
Carbon para la máquina motriz.	1'753
Aceite.	0'320
Jornales. .	3'200
Sesenta y dos bujías, á 0p'50 una. .	31'000
TOTAL.	37'118

y por foco y hora, 0'60 pesetas.

Al precio de 0p'30 fijado por la Comision municipal para los ensayos comparativos que durante un año deben verificarse en París, entre este alumbrado y el de gas, parece

que debe perder dinero la Sociedad de electricidad; sin embargo, no debe olvidarse que los precios deducidos son dando á la bujía el valor privilegiado de 0p'50; pero como su coste real, comprendiendo fabricacion, ajustado y colocacion, es muy inferior y puede valuarse por alto en 0p'40, el gasto total de 37'12 pesetas queda reducido á 12'20, y por hora y foco á 0p'20, inferior ya al del gas: bueno será, sin embargo, aguardar el resultado de dicho ensayo ántes de emitir juicio definitivo en el asunto.

De todos modos el coste que hemos fijado es un máximum, pues si se toma, como es muy frecuente, fuerza de una máquina destinada á otros trabajos, para mover las dinamo-eléctricas, desaparece la parte de coste correspondiente al salario del maquinista y fogonero, disminuyendo tambien la cantidad de combustible consumida por caballo, y el precio de la tonelada de carbon, pues las fábricas donde se consume mucho lo obtienen más barato: excusado es decir que, por este último concepto, la economía es mayor cuando se establezca el nuevo alumbrado en dependencias de un ferro-carril ó en la proximidad de una mina de hornaguera, y que cuando se disponga de un motor hidráulico, el gasto corriente se reduce al consumo de bujías, al engrasado de las piezas y á la amortizacion y cuidado del aparato.

A pesar de todas estas ventajas en el sistema Jablochkoff, existe un grave inconveniente, cual es el no haber encontrado un medio que evite las extinciones repentinas de luz, ocasionadas por averías en la máquina motora ó en las eléctricas, faltas en la maniobra de los conmutadores ó entorpecimientos en los alambres; la Compañía de Electricidad confia, no obstante, en que la experiencia y el estudio harán desaparecer semejantes contratiempos.

CAPÍTULO V.

TUBOS DE GEISSLER.—LÁMPARAS DE CANDENCIA.

Lámpara de Dumas y Benoit; aplicacion á las minas de hulla.—Lámpara Gervais. —Luces por candencia de carbones delgados; lámparas de King, Lodiguine, Konn, Buliguine, Fontaine y Sawyer-Man.—Luces Jablochkoff, por candencia de trozos de kaolin.—Luces por candencia de alambres metálicos.—Lámparas de Petrie, Changy y Alva Edison.—Luces por candencia y arco voltaico á la vez: lámparas de Reynier y Werdermann.

Otro medio de obtener luz eléctrica se funda en el conocido fenómeno de los tubos de Geissler: enlazando á una bobina Ruhmkorff los extremos de dos alambres de platino que penetren en un tubo de vidrio herméticamente cerrado y lleno de un vapor cualquiera, pero muy enrarecido, y haciendo pasar la corriente eléctrica, brota dentro del tubo una luz estratificada, en contínua agitacion, y compuesta de capas delgadas transversales, separadas por otras sombrías, con lo que presenta el tubo un brillo particular ó fluorescencia.

Aunque no se han generalizado los aparatos que utilizan estos tubos luminosos, ya porque la luz sea débil ó insuficiente, ya por lo delicado de alguna de sus partes, darémos una idea de su disposicion y manejo.

La lámpara de MM. Dumas y Benoit, de Privas, figuras 69 y 70, consta:

1.º De un elemento de pila, del tipo de Pogendorff, es decir, de bicromato potásico disuelto en ácido sulfúrico concentrado, con lo cual se evita el desprendimiento de gases nocivos. En el par entra ademas, como sabemos, el zinc

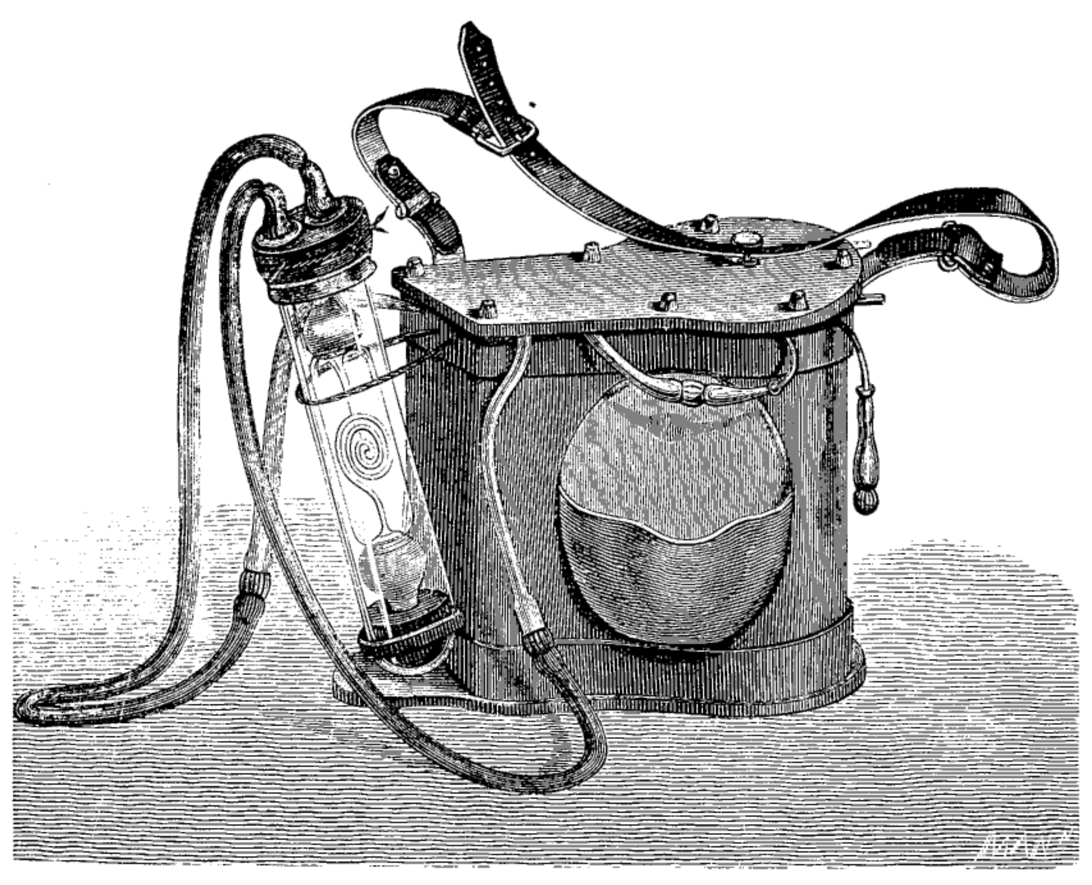


Fig. 69.

amalgamado y el carbon, resultando una pila más barata y más enérgica que la de Bunsen, pero de accion ménos duradera, por causa del depósito de óxido de cromo que se precipita sobre el zinc é impide la accion subsiguiente del ácido.

2.º De una bobina de induccion de Ruhmkorf provista de su condensador.

3.º De un tubo de Geissler con nitrógeno puro á la presion de sólo 20 milímetros de mercurio. El tubo en su

parte media, ademas de adelgazado, está arrollado en espiral, y constituido por un vidrio de urano. El color que aparece en el nitrógeno, bajo la accion de la corriente eléctrica, es rojizo, y como el vidrio de urano es verde, resulta una luz blanca, ligeramente verdosa. La fístula luminosa está encerrada dentro de un tubo de vidrio muy grueso para proteger la luz en caso de un choque cualquiera, y este tubo va cubierto con un casquete de ebonita, atravesado por los elec-

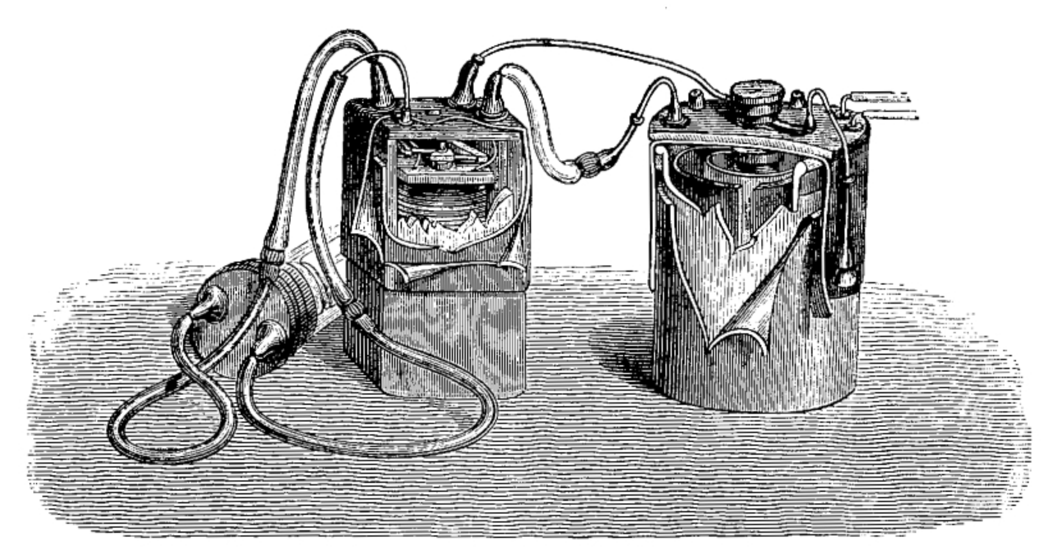


Fig. 70.

trodos de platino, adonde acuden, forrados con goma elástica, los conductores de las corrientes originadas en la bobina.

La disposicion dada por MM. Dumas y Benoit á todas estas piezas para hacerlas manejables es la siguiente: la pila y la bobina se introducen en dos compartimientos de una especie de cartuchera de cuero, que se puede atar á la cintura. El tubo luminoso comunica con la bobina por medio de alambres de cobre bien aislados y de longitud suficiente para que aquél pueda llevarse en la mano ó colgarse en la parte anterior de la cartuchera, dejando las manos libres, y por medio de un conmutador, que se maneja á mano, y

va colocado en la tapa de la cartuchera, se obra sobre la corriente eléctrica, apagando ó encendiendo la lámpara.

De este modo el aparato, aunque compuesto de diversas y delicadas piezas, puede confiarse á cualquier obrero.

El peso total es de 6 kilógramos, y la pila no necesita reponerse más que de doce en doce horas, y cada vez con un gasto que no excede de 25 céntimos de peseta.

Los experimentos á que se sometió esta lámpara demostraron que la impermeabilidad en las juntas era completa; que el tubo luminoso apénas se calienta; que la intensidad de la luz, si bien al principio es algo inferior á la de una lámpara de seguridad ordinaria, llega á ser igual despues de funcionar algunas horas, y áun superior en los sitios mal ventilados; y por fin, que no presenta peligro de explosion, aunque se rompa el tubo de vidrio en una atmósfera donde haya gases inflamables, porque los electrodos se hallan á la distancia mínima de 17 centímetros, que no puede salvar en el aire el arco voltaico establecido en el vacío relativo que existe en el tubo.

Sin embargo, respecto de este último punto hay que advertir que los experimentos hechos en Saint-Etienne han demostrado que si por cualquier causa se destruye el tubo de Geissler, á pesar de la distancia entre los electrodos, no sólo se producen chispas entre éstos, sino con los cuerpos conductores próximos, chispas suficientes para inflamar el gas del alumbrado. La seguridad de la lámpara, por tanto, no es absoluta, y es preciso no descuidar ninguna de las precauciones que reclama su empleo, si bien, para obviar inconvenientes, los inventores se propusieron introducir una modificacion en el aparato, tal, que el hilo de la corriente de induccion se rompiera en cuanto se interrumpiese





por cualquier causa el circuito, logrando así la completa seguridad de la lámpara.

Tambien se comprobó en Saint Etienne, al emplear la lámpara de Dumas y Benoit, en el levantamiento de planos de mina, que el tubo luminoso no ejerce accion apreciable sobre la aguja imanada; pero sí la pila y la bobina, por lo cual la cartuchera que las contiene debe colocarse á cierta distancia de la brújula con que se trabaja.

Los ensayos hechos en Prusia con la lámpara en cuestion han confirmado los resultados de Francia, y las siguientes conclusiones del ingeniero aleman Hr. Bluhme resumen bien las circunstancias del aparato: «La lámpara foto-eléctrica necesita aún importantes modificaciones para servir como alumbrado ordinario en las minas; pero tal cual es, tiene un gran valor práctico al verificar excavaciones en un aire profundamente viciado, y sobre todo en los trabajos de salvamento, puesto que puede usarse dentro de gases explosivos y de atmósferas que no sostienen la combustion de las luces.»

Lo cierto es que no se ha extendido el uso del aparato de Dumas y Benoit, si bien en un principio fué adoptado en las principales minas de hornaguera del Loire, Ardeche y Gard (Francia), y la Sociedad de la industria minera de Saint-Etienne, acordó en sesion del 6 de Diciembre de 1863, adjudicar una medalla de plata á los inventores.

Análoga á la lámpara anterior es la de M. Gervais, ideada con especial destino á la pesca. Dentro de una caja de cobre herméticamente cerrada y montada sobre cuatro piés, van dos elementos de Poggendorff, bien acondicionados para que en ningun caso se viertan los líquidos que contienen: los polos de estos elementos pueden comunicar á voluntad

con una bobina, trasmitiéndose las corrientes de induccion desarrolladas en ésta, por medio de alambres de cobre revestidos de goma elástica, á un tubo de Geissler de forma particular y lleno de ácido carbónico, que va encerrado en un cilindro de vidrio, de paredes gruesas, con armaduras de cobre, y colocado entre los piés de la caja, de modo que el agua no pueda penetrar en él. Esta lámpara se coge ó suspende de un anillo que lleva en la parte superior, y, segun lo manifestado en Marzo de 1865 á la Academia Francesa de Ciencias por M. Coste, en nombre del inventor, se obtiene con el aparato una luz suave, más intensa, pero parecida á la de los gusanos fosforescentes, la cual se ve á gran distancia, áun dentro del agua, si bien sólo ilumina un reducido espacio.

Hablemos ahora del alumbrado por candencia, último de los medios que indicamos para producir luz eléctrica, y de sumo interes, ya que proporciona la manera de obtener luces de poca intensidad, no sólo aplicables á las múltiples exigencias del alumbrado público y de la industria, sino tambien al uso doméstico y, lo que para nosotros es más importante, á las minas.

Objeto este sistema de alumbrado de largos estudios, dió orígen desde un principio á diferentes lámparas, si bien presentando tales inconvenientes, sobre todo por la delicadeza de los órganos que las constituian, que sin los descubrimientos de Jablochkoff, Werdermann, etc., el procedimiento hubiera continuado siendo exclusivamente científico.

Está basado en la observacion siguiente: si se interpone en un circuito eléctrico una barrita de carbon de retorta, un trozo de kaolin, un alambre delgado de platino ó iridio, ó cualquiera otra sustancia difícil de fundir y de mucha resistencia al paso de la electricidad, la barrita, el trozo ó el

alambre se enrojecen y acaban por emitir una luz viva. La del platino, ó mejor del platino iridiado, es más suave y constante, pero más débil que la del carbon, y cuando la corriente es muy fuerte, acaba por fundir el alambre; el carbon es infusible, su poder radiante mayor, su capacidad calorífica menor que la del platino, y su resistencia eléctrica cerca de 250 veces la de éste, de modo que puede ser bastante más grueso, y sin embargo ponerse candente; los trozos de kaolin reunen en parte las ventajas de ambos sistemas.

La primera lámpara de candencia, por la que en 1845 obtuvo Mr. King un privilegio de invencion en Inglaterra, se dice fué inventada por el americano J. W. Starr.

Consistia el aparato en una campana de vidrio atravesada por dos conductores, entre los que se colocaba una barrita de carbon que habia de hacerse luminosa por el paso de la corriente eléctrica; el conductor inferior reposaba ó se sumergia en un baño de azogue y estaba sostenido desde el superior, fijo en la campana, por medio de una varilla de porcelana. Se hacía el vacío en la campana y se ponia uno de los polos de una pila en comunicacion con el azogue, y el otro con el conductor superior, produciéndose así la luz. Esta lámpara podia servir para el alumbrado submarino, de las fábricas de pólvora y de las minas de hulla, y cuando la corriente era suficientemente intensa, cabia el poner sobre un mismo circuito dos ó más luces.

Merece consignarse que la invencion de esta lámpara produjo entre los tenedores de acciones de las compañías de gas del alumbrado una alarma igual á la que en el pasado año de 1878 ocasionó el anuncio de los inventos de Edison. El procedimiento de King, calificado en América por las compañías de gas de «*malhadada invencion*», cayó pronto en

el olvido, porque resultaba más embarazoso y caro que el gas, y no se volvió á pensar sériamente en utilizar para el alumbrado eléctrico el principio de la candencia hasta 1873, en que el físico ruso Lodyguine presentó una lámpara de esta clase con dos carbones colocados dentro de un recipiente de vidrio privado de aire, á los que se hacía llegar la corriente por medio de un conmutador exterior. En 1875 Konn, de San Petersburgo, obtuvo privilegio por otro aparato, fig. 71, más práctico que el anterior, usado durante mucho tiempo con excelentes resultados en un almacen de lencería de aquella capital. Consiste la lámpara en un zócalo de cobre que lleva dos tornillos ó botones para la insercion de los conductores eléctricos, dos varillas verticales tambien de cobre, y una válvula que se abre de dentro afuera y sirve para hacer el vacío en una campana de vidrio, más ancha por la parte superior, perfectamente ajustada al zócalo, y dentro de la cual van las varillas.

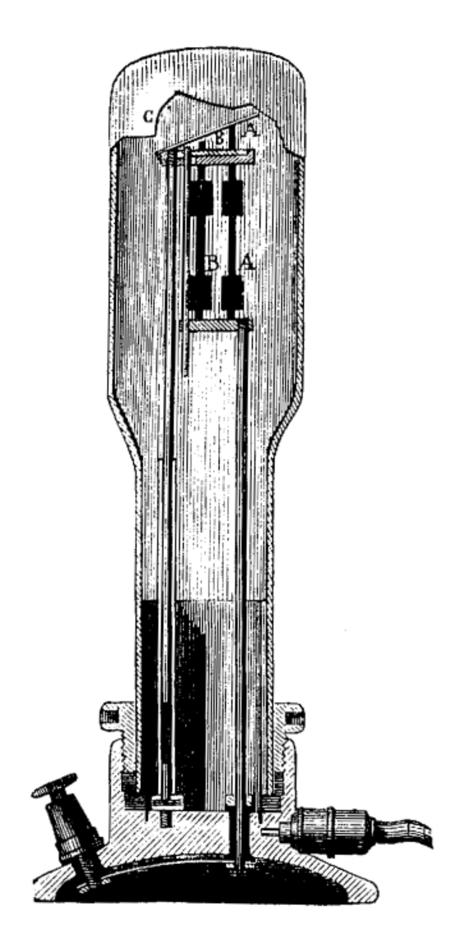


Fig. 71.

Una de éstas se halla aislada eléctricamente del zócalo y comunica con un boton aislado tambien; la otra, que es más larga, se compone de un tubo unido, sin aislar, al zócalo y una barrita hendida en parte de su longitud, para que á cierto esfuerzo pueda deslizarse por el tubo. Las varillas están coronadas por dos platillos metálicos enlazados uno á

otro, entre los cuales se colocan cinco carbones encajados por sus extremos en pequeños cilindros de la misma sustancia, provistos de varillas de cobre, iguales las inferiores y de longitud decreciente las superiores.

Una charnela metálica articulada sobre la varilla hendida reposa sobre el apéndice metálico del primero de los carbones, que por el paso de la corriente así conducida, se enrojece, blanquea y emite una luz clara, fija y constante en un principio; mas poco á poco la seccion del carbon disminuye, la barrita se rompe y la luz cesa. La charnela cae entónces sobre la varilla de otro carbon, pues la primera se ha deslizado á traves del platillo inferior, y la luz se restablece instantáneamente.

Cuando se han consumido todos los carbones, la charnela se detiene sobre la varilla que une los dos platillos, y la corriente no se interrumpe; de modo que si hay muchas lámparas sobre un mismo circuito, la extincion de una no origina la de las demas.

Cada carbon dura unas dos horas, á excepcion del primero, que por causas que despues explicarémos, se consume pronto. La luz es muy agradable, pero más costosa que la del gas, y su intensidad de unos 20 mecheros Carcel. El coste depende principalmente de la dificultad de preparar los carbones, que deben tener menor seccion en el punto en que se produce el foco luminoso, y salen en fábrica á 5 pesetas el metro.

El oficial ruso Buliguine ha ideado otra lámpara en que, con un solo carbon, se obtiene el mismo resultado que en la anterior con cinco. Se compone tambien de un zócalo de cobre, de dos varillas verticales, de dos botones de toma de corrientes y de una válvula. Un ingenioso mecanismo

automático, mandado por un electro-iman, hace que la barra de carbon suba cierta cantidad en cuanto se rompe, con lo que la corriente se restablece; pero como hay muchos y delicados órganos, cesa el juego al menor obstáculo. Sin embargo, cuando esta lámpara funciona regularmente necesita ménos fuerza de corriente que la de Konn, para una luz dada, pues con una máquina de Gramme susceptible de producir 100 mecheros Carcel, la de Buliguine da 80, miéntras que la de Konn no pasa de 60.

En las lámparas rusas pueden conseguirse diferentes focos luminosos con una sola corriente; pero en todas ellas el primer carbon dura por término medio veinte minutos, y los demas dos horas, á ménos que la intensidad de la luz que proporcionan llegue á 40 mecheros, pues entónces no alumbran más de media; consiste esto en que como el vacío no se puede hacer de una manera completa, el carbon primero arde en gran parte, y si en los siguientes no sucede otro tanto, consumido ya por aquél el poco oxígeno que queda en la lámpara, no por eso pueden conservarse indefinidamente, porque experimentan una especie de corrosion ó desgaste, que se revela en las lámparas por un depósito pulverulento, y hay ademas una desagregacion producida por la repentina elevacion de temperatura al recibir la corriente eléctrica.

Exigen las lámparas rusas vasos gruesos perfectamente cerrados, que causan una considerable pérdida de luz, y ésta varía contínuamente de intensidad por el adelgazamiento progresivo del carbon, que, como sabemos, acaba por romperse ó desagregarse; pero el inconveniente principal está en que sólo á fuerza de cuidado se logra el indispensable aplomo de los carbones, y una vez rotos, es difícil conseguir

automáticamente el nuevo contacto, y con frecuencia es preciso menear las lámparas para provocarlo.

A fin de corregir este defecto, M. Fontaine ha propuesto una en que los carbones se ajusten á contactos rígidos y fijos, que permitan funcionar en todas posiciones, y en la que por medio de un electro-iman intercalado en el circuito, la corriente cambie de un carbon á otro cuando sea necesario.

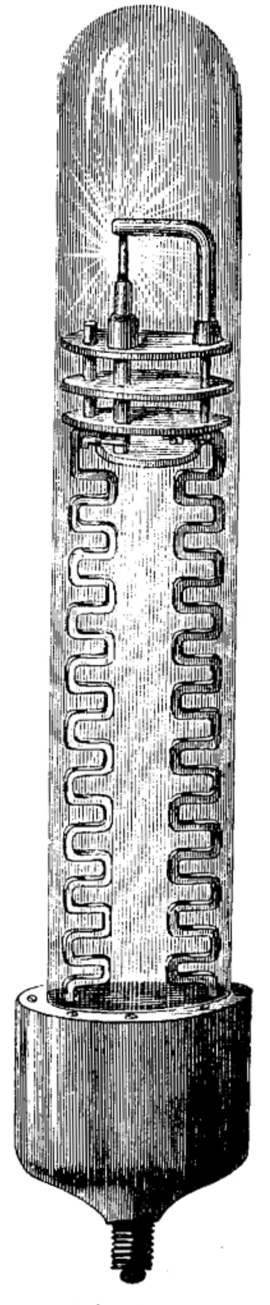


Fig. 72.

Dejamos dicho que en las lámparas anteriores el carbon se consumia ó desmenuzaba con más ó ménos rapidez, y tratamos de explicar la causa. El anglo-americano mister Sawyer atribuye el desgaste del carbon á que éste, á la temperatura desarrollada por la electricidad, es atacado por ciertos gases que no lo harian á la ordinaria; por consiguiente, se obtendrá para los carbones una duracion casi indefinida si se produce su candencia en medio de una atmósfera que no ejerza accion sobre ellos, y al propio tiempo se consigue desviar una parte de la corriente en el primer momento, ó cuando por cualquier motivo adquiera de pronto excesiva intensidad.

En estos principios está basada la lámpara de Sawyer-Man, representada en la fig. 72, y dada á conocer en Norte América á fines del año próximo pasado.

La luz es producida por la candencia de una delgada barrita ó lapicero de carbon de $0^{m}'025$ de largo por $0^{m}'0025$

de diámetro, colocada verticalmente entre dos gruesas barras de la misma sustancia, que forman parte ó están unidas á conductores metálicos de una forma especial, para dar acceso y salida á la corriente; conductores y carbones están encerrados dentro de una campana de cristal de 0m'050 de diámetro y 0m'150 á 0m'200 de altura, perfectamente ajustada á un zócalo de cobre, y en la cual se ha hecho el vacío, introducido nitrógeno, y absorbido el pequeño residuo que pudiese quedar de oxígeno. El aparato lleva tres diafragmas en su parte superior, y el zócalo tiene gran volúmen, todo para evitar radiaciones caloríficas hácia abajo.

La uniformidad en la corriente se logra por medio de un aparato auxiliar intercalado en el circuito; aparato que describirémos al tratar de la division de la luz eléctrica, á cuyo objeto se destina principalmente esta lámpara.

La luz con ella obtenida es blanca, suave y grata á la vista, y puede encenderse y apagarse, aumentarse y disminuirse como el gas, por medio del aparato auxiliar citado. Esta lámpara, que se puede colgar ó poner sobre una mesa ó en los brazos de un candelabro ó de una araña, ocupa ménos que los quinqués ordinarios y que las bombas de los mecheros de gas, puede llevarse de un lado á otro, cuanto permitan los alambres conductores de la corriente, y su precio no excede, segun su inventor, de unas cinco pesetas.

Queda dicho que la luz por candencia se produce tambien con cuerpos refractarios no conductores, y éste es el medio propuesto en 1877 por Jablochkoff. Hace pasar la corriente de induccion por un trozo delgado de kaolin, revestido en los bordes de un cebo ó sustancia más conductora, formado por una pasta de goma y carbon ó plombagina; la porcion de kaolin así calentada da una banda que constituye un

conductor muy resistente, y que por el paso de una corriente de gran tension, se caldea, emitiendo una luz más suave y fija que ninguna de las conocidas, y esto con un consumo de kaolin tan corto, que puede valuarse en una zona de un milímetro por hora.

Este procedimiento, que no exige la presencia del oxígeno, y que, por consiguiente, admite vasos cerrados, puede aplicarse útilmente al alumbrado de las minas de hulla.

La primera lámpara con candencia de un delgado alambre metálico, de que tenemos noticia, es la propuesta en el año 1849 por M. Petrie, y el metal empleado era el iridio. En 1857 M. Changy dió á conocer en Bélgica otra que no pasó de ser un experimento de laboratorio, en que por medio de un regulador-divisor de corriente se conseguia impedir la fusion del hilo de platino colocado dentro de un vaso herméticamente cerrado.

Muy recientemente, el americano Alva Edison ha llegado al mismo resultado empleando una doble espiral hecha de platino iridiado como sustancia de difícil fusion, pudiendo igualmente usarse, segun el inventor, otros cuerpos poco fusibles, tales como el rhodio, osmio, óxido de titano, barras de platino ó esferillas de silicio, boro, etc., entre varillas de carbon, platino ú otro metal.

En el interior de la espiral metálica, y sin tocarla, va una varilla conductora, sujeta por uno de sus extremos al alambre grueso por donde entra la corriente á la espiral, y por el otro contigua, pero sin tocar al conductor de salida. Si la intensidad de la corriente que circula por la espiral y la varilla es tal que pueda temerse una fusion, la varilla se dilata lo bastante para que su extremo libre toque al conductor, y parte de la corriente pasa á éste desde luégo, por ser

más corto el circuito que así se forma, con lo que la temperatura en la espiral disminuye, evitando se funda sin que cese de ser luminosa.

En la figura 73 se representa la lámpara Edison. La corriente llega por el alambre 1, pasa por el *I* á la palanca *F*, varilla *D*, cubierta metálica *H*, boton *L*, alambre *E*, montante *B*, espiral *A*, montante *C*, alambre *K* y sale por el 2. Cuando por un exceso de corriente eléctrica la temperatura crece demasiado, la varilla *D* se dilata, y empujando la palanca *F*, ésta toca en el tope *N*, y de este modo se forma un circuito más corto, por donde se deriva parte de la corriente y se evita todo accidente.

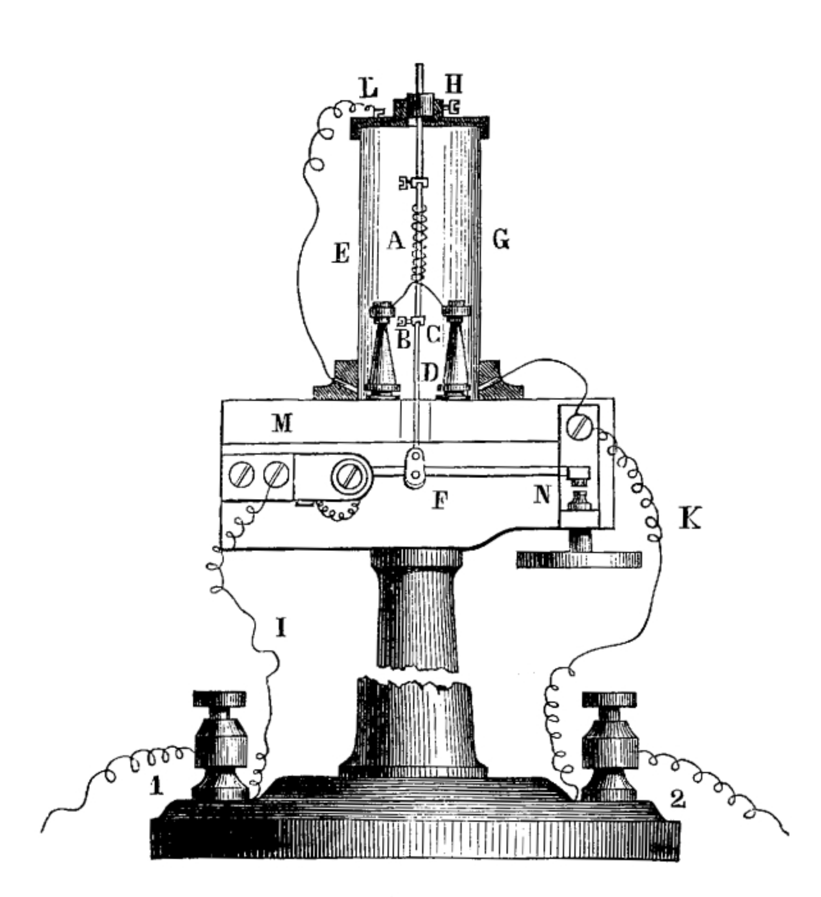


Fig. 73.

En esta lámpara la luz queda envuelta por un tubo de cristal *G*, y puede con disposiciones adecuadas brillar tanto en el vacío como en el aire.

Nada podemos decir acerca de sus ventajas é inconvenientes en la práctica, porque áun no ha salido del período de experimentos de gabinete.

Darémos fin á este capítulo con la descripcion de dos lámparas en las que se combinan para la produccion de la luz los efectos de candencia y de la formacion del arco voltaico; lámparas que han llamado merecidamente la atencion por lo bien que se prestan al alumbrado público y privado.

En ambas se evita el empleo de vasos herméticamente cerrados y se consigue con facilidad el reemplazo de los carbones, si bien teniendo que pasar, para lograr tales ventajas, por la consiguiente combustion de los mismos.

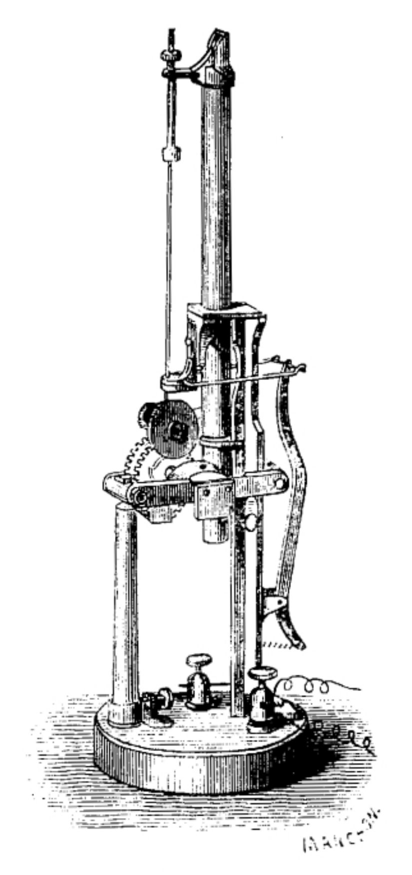
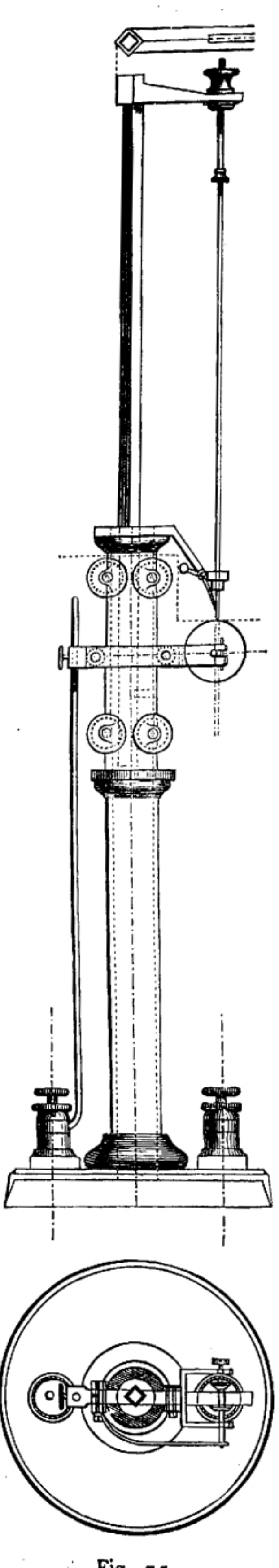


Fig. 74.

La primera, debida al ingeniero frances M. Emile Reynier, y por la que se sacó privilegio de invencion en Febrero de 1878, consiste (figuras 74 y 75) en una barrita afilada de carbon de 0^{m}'20 á 0^{m}'30 de largo, y 0^{m}'001 á 0^{m}'002 de diámetro, sujeta por un extremo á una varilla metálica que tiende á descender por su propio peso, y apoyándose por el otro en el contorno de un disco vertical, tambien de carbon, que gira lentamente, ya sea arrastrado por una rueda á que da movimiento el peso de la varilla, ó simplemente empujado por ésta al bajar, á causa del desgaste del carbon que se verifica en el extremo en contacto con el disco; la presion ejercida sobre éste se trasmite por una disposicion muy sencilla, para producir una accion automática de freno sobre el porta-carbon motor.


Fig. 75.

En un principio el disco de carbon estaba fijo; pero observando el inventor que se ahuecaba y penetraba en él la punta de la barrita, con gran pérdida de luz, introdujo las modificaciones necesarias para darle el movimiento que hemos dicho, con lo cual, al propio tiempo que el consumo es uniforme, se logra mayor iluminacion y que caigan las cenizas amontonadas en el disco. La parte candente, siempre muy corta, puede aumentarse ó disminuirse variando el punto de admision de la corriente, con lo que se obtiene más ó ménos luz, siendo ésta muy blanca y de una intensidad que puede llegar hasta seis mecheros Carcel, y á la que contribuye un pequeño arco voltaico que se forma en el punto de contacto de los carbones, efecto de las repulsiones ejercidas por los elementos contiguos de la corriente.

El consumo de carbon es de 0^{m}'10 por hora. Con cuatro elementos de Bunsen, susceptibles de cargarse en cinco minutos, se produce una hermosa luz durante tres ó cuatro horas, que puede colocarse dentro de un globo de color para hacerla más grata á la vista.

En vez de la pila de Bunsen pueden usarse la de Planté ó la máquina de

Gramme, y con una misma corriente hay facilidad de alimentar á la vez várias lámparas, dando por lo ménos una intensidad de un mechero Carcel cada una. El aparato es susceptible de prestar muchos servicios en los talleres, como medio auxiliar de iluminacion eléctrica, y áun en los grandes hoteles y casas particulares.

Las figuras 76 y 77 representan una lámpara, inventada por Mr. Richard Werdermann, de Lóndres, objeto de grandes elogios por parte de la prensa científica de Inglaterra, y que fué dada á conocer á la Academia Francesa de Ciencias, en carta comunicada en 18 de Noviembre de 1878 por M. du Moncel. El electrodo negativo es un grueso disco de carbon de $0^{m}'05$ de diámetro, convexo hácia abajo, cogido por un anillo de cobre y sostenido por un soporte del mismo metal en comunicacion con uno de los conductores eléctricos; el electrodo positivo es una barrita, tambien de carbon, afilada como un lápiz y de $0^{m}'003$ á $0^{m}'0045$ de grueso, que puede deslizarse por un tubo y está en comunicacion con el otro conductor. Los electrodos deben permanecer constantemente en contacto, para lo cual el positivo es empujado hácia arriba, á medida que se consume, por medio de un contrapeso ó por un resorte en espiral, cuya accion se gradúa convenientemente. Tocándose los dos carbones solamente en un punto, el arco voltaico que se produce entre ellos es sumamente pequeño, poniéndose á la vez candente una corta longitud del positivo. La luz,

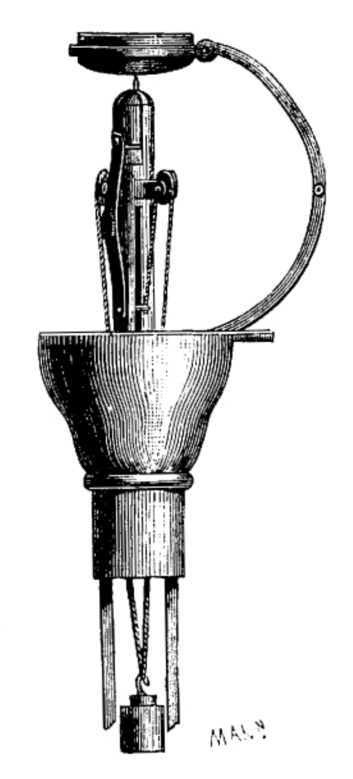


Fig. 76.

ménos brillante que la de las bujías Jablochkoff, no necesita encerrarse dentro de un globo demasiado opaco, habiéndose llegado en los experimentos hechos en Lóndres con dos lámparas y una máquina pequeña de Gramme, de corriente contínua, á tener en cada aparato una intensidad luminosa equivalente á unos 45 á 46 mecheros Carcel. Más adelante verémos la aplicacion de esta lámpara á la division de la luz eléctrica en pequeños focos.

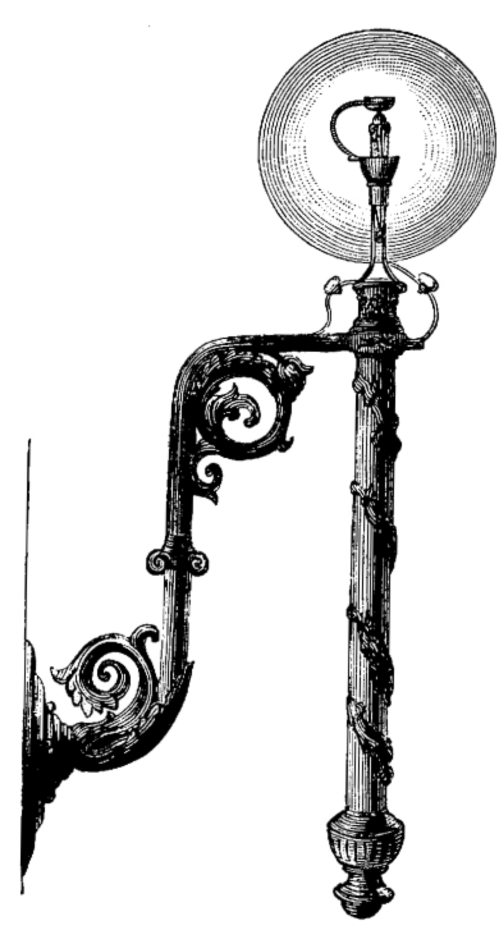


Fig. 77.

Los aparatos de Reynier y Werdermann exigen, como se comprende por su descripcion, corrientes contínuas, y encerrados en vasos de cristal pueden emplearse en las minas aunque haya gases inflamables.

CAPÍTULO VI.

DIVISION DE LA LUZ ELÉCTRICA.

Conveniencia de obtener focos eléctricos pequeños.—En qué consiste la division de la luz eléctrica.—Primeros pasos para la solucion de este problema.—Procedimientos de Werdermann, Reynier, Sawyer, Jablochkoff, Changy y Alva Edison.

La prodigiosa fuerza luminosa del arco voltaico le hace eminentemente propio para el alumbrado de vastos espacios á descubierto ó grandes salas, pero inaplicable en locales reducidos. Tal es su intensidad, que con un proyector de Sautter y Mangin, una lámpara de Serrin, carbones de Gaudoin ó Carré, y fuerza tan sólo de diez caballos vapor, se constituye un sol artificial de 4000 mecheros Carcel. Aun sin aparato proyector, se llega á obtener focos de 1850 mecheros, cantidad de luz que exigiria para su produccion por los antiguos medios quemar en una hora 78 kilógramos de aceite ó todo el gas que puede encerrarse en un globo de nueve metros de diámetro.

Es indudable que hasta para el alumbrado al aire libre son más útiles 200 focos de diez mecheros Carcel que

uno de 2000, cuyo brillo deslumbrador fatiga la vista y frecuentemente se aprovecha mal; en la iluminacion doméstica una intensidad de 10 mecheros es todavía excesiva, y hasta la industria, en la mayor parte de los casos, no pide más de 15 por luz. De aquí los esfuerzos que han venido haciéndose para obtener en buenas condiciones económicas focos de 1 á 15 mecheros Carcel, es decir, para resolver el problema de la *division de la luz eléctrica.*

Por fin parece haberse hallado la solucion de que depende la generalizacion del nuevo sistema de alumbrado, y si bien el descubrimiento, por lo reciente, no trae consigo todavía la sancion de la práctica en grande, los ensayos verificados autorizan á dar por conseguido el objeto, sin negar que la solucion completa, el ideal en el asunto sería, como piensa M. Fontaine, el aprovechamiento de la electricidad atmosférica, ó el descubrimiento de una nueva fuente de este flúido, que no exigiese al aplicarle costosas máquinas ni largas é inseguras trasmisiones.

La cuestion de que tratamos no se reduce simplemente á obtener luces pequeñas, para lo que bastaria emplear pilas de poco tamaño ó reducidas máquinas electro-magnéticas, sino que consiste en alimentar diferentes focos con el mismo aparato y con ménos coste que con uno para cada luz; es decir, que el problema presentado á los físicos se refiere á dividir una corriente eléctrica en otras capaces de alimentar luces de la intensidad que se desea.

Segun la ley de Ohm, al pasar una corriente de un conductor principal á otros secundarios se divide entre éstos en razon inversa de sus resistencias eléctricas; podemos tener, por consiguiente, diez corrientes de igual fuerza, si disponemos en un conductor general diez alambres secundarios

con igual longitud y conductibilidad; y si uno de ellos se divide en otros diez, que en conjunto presenten igual resistencia, por cada uno de estos últimos circulará tan sólo la centésima parte de la corriente total.

Vemos, pues, que es muy fácil fraccionar una corriente en otras de la fuerza que convenga; pero si se quieren utilizar estas corrientes derivadas en la produccion de la luz eléctrica, es necesario compensar el efecto de la variable resistencia de las lámparas, del aumento ó disminucion de su intensidad, y de la extincion ó supresion de una de ellas, por medio de aparatos que mantengan una resistencia uniforme en todo el circuito, y resistencias iguales en sus diferentes partes.

M. Leroux propuso en Francia en 1867 un medio muy ingenioso de obtener dos focos intensos con una misma corriente dirigiéndola alternativamente á dos reguladores, de modo que el primer foco se extinguiese al encenderse el segundo; no pasando la duracion de estas alternaciones de un vigésimo de segundo, parece que las lámparas dan una luz contínua.

Las máquinas de Gramme, de corrientes alternantes, pueden alimentar hasta 20 bujías Jablochkoff, pero no con una sola corriente, sino con várias, pues sobre cada circuito únicamente pueden colocarse tres ó cuatro bujías; de modo que la division es muy limitada, el coste demasiado alto, y muy grande aún la intensidad de los focos luminosos resultantes.

M. Lontin ha logrado tambien colocar dos y hasta tres arcos voltaicos sobre la misma corriente, pero con igual exceso de brillo y coste.

Por más que no carezcan de importancia los anteriores

resultados, el verdadero interes de la cuestion está, como dejamos dicho, en la obtencion de luces pequeñas. Las lámparas de King, Lodyguine, Konn y Buliguine son un primer paso en este sentido, aunque con los inconvenientes que hemos hecho notar; vamos ahora á ver cómo se ha llegado á la solucion anunciada, mediante la aplicacion de los principios ya expuestos.

En un experimento recientemente verificado en Lóndres, la corriente eléctrica de una pequeña máquina de Gramme, de corriente contínua, que primero habia alimentado dos

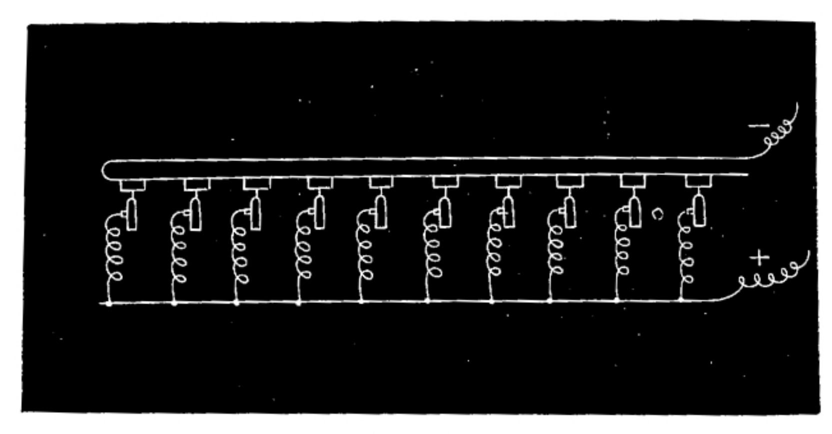


Fig. 78.

grandes lámparas de Werdermann, dando en cada una cantidad de luz equivalente á unas 320 bujías, fué dirigida á una serie de 10 lámparas más pequeñas y de la misma clase, dispuestas, por derivacion, sobre el circuito, como se ve en la figura 78, es decir, enlazados todos los carbones, negativos por una parte y por otra los positivos, á los correspondientes alambres conductores, é intercaladas en las derivaciones resistencias que regularicen y dirijan la accion de la corriente, del modo que vamos á explicar.

Cada lámpara lleva un conmutador consistente en un anillo dividido por ranuras longitudinales en cuatro secciones iguales, tres metálicas y una de ebonita ú otra sustancia

no conductora de la electricidad, dentro del cual puede moverse un cilindro mitad metálico y mitad aislador. Una de las secciones metálicas del anillo se enlaza por un alambre al conductor positivo de la máquina generadora de flúido; otra, al electrodo positivo de la lámpara; y la tercera, al electrodo negativo, interponiendo en este último enlace una espiral de resistencia igual á la de la lámpara.

Haciendo que la parte metálica del cilindro interior establezca la comunicacion entre las dos secciones del anillo unidas al conductor y al electrodo positivos, la corriente pasa directamente por la lámpara y ésta se enciende; moviendo el cilindro de modo que ponga en comunicacion las secciones enlazadas al conductor positivo y al electrodo negativo, la corriente no atraviesa los carbones, sino que va por la espiral de resistencia, y la lámpara no luce, pero la distribucion de la electricidad no cambia; por último, llevando el cilindro móvil á una posicion tal que su parte metálica conduzca la corriente á la seccion de ebonita, el circuito queda interrumpido, la lámpara se apaga y las demas aprovechan la electricidad que pasaba por ella. Esta combinacion permite encender ó apagar las luces á la vez ó sucesivamente.

Como en ocasiones conviene tener más luz en un punto que en otro, para lograrlo se introducen resistencias en el alambre positivo de cada derivacion, representadas por las espirales de la figura y puestas en juego por conmutadores análogos á los descritos ántes.

Las lámparas pequeñas, en los experimentos de Lóndres, brillaron con igual luz, pero el efecto total era inferior al de las dos grandes, pues cada una de las primeras sólo daba una intensidad luminosa de 40 bujías, mas debe advertirse

que era débil la máquina de Gramme empleada, pues no excedia la fuerza motriz de dos caballos vapor.

La resistencia de cada lámpara era de o'392 ohms, y la total del circuito de o'o37.

Es de notar que para sostener las diez luces basta con una corriente de poca tension é intensidad, circunstancia sumamente favorable para el objeto á que se destina: en la ocasion citada la resistencia de la armadura ó anillo de Gramme fué de o'oo8 ohms, y su fuerza electro-motriz de 4 volts, á la velocidad de 800 vueltas por minuto, lo que da una intensidad de corriente de 66'o6 webers, siendo así que para obtener una luz de arco voltaico se necesita, cuando ménos, la fuerza electro-motriz de 30 elementos de Bunsen; el hecho se explica por la continuidad y corta resistencia del circuito, y porque la luz de candencia no exige tension, sino cantidad.

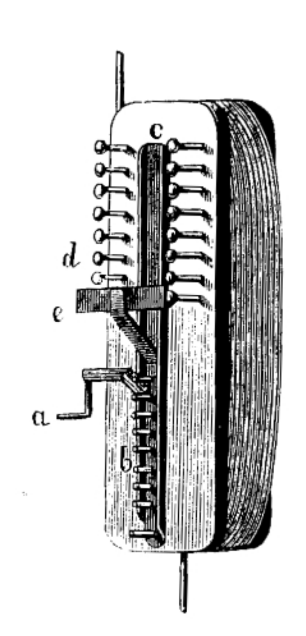


Fig. 79.

Dice Werdermann, en la Memoria presentada á la Academia de Ciencias de París en Noviembre de 1878, que entre los primeros circuitos de derivacion puede intercalarse una nueva serie de luces de ménos intensidad, y siguiendo estas interpolaciones, llegar al límite de la divisibilidad.

M. Reynier ha conseguido tambien con su lámpara, aunque no tan práctica como la anterior, sostener en un circuito hasta 10 luces de cinco mecheros Carcel cada una, que se podian encender ó apagar independientemente.

Adelantamos ya, al describir la lámpara de Sawyer-Man, que su objeto principal es la division de la luz eléctrica, y

que la uniformidad de resistencia necesaria para lograr este resultado se conseguia por medio de un aparato especial. Este, que podemos llamar conmutador-regulador de corriente, se halla representado en la figura 79. El movimiento de la llave *a*, empujando los dientes ó pequeños cilindros *b* de la parte inferior, hace subir ó bajar, deslizándose por una ranura ó canal *c*, la tablilla en que van los dientes, enlazada á la que lleva la planchuela metálica *e*, dando por resultado que ésta se coloque sobre uno ú otro de los pares de botones conductores *d*. El diagrama que sigue (fig. 80)

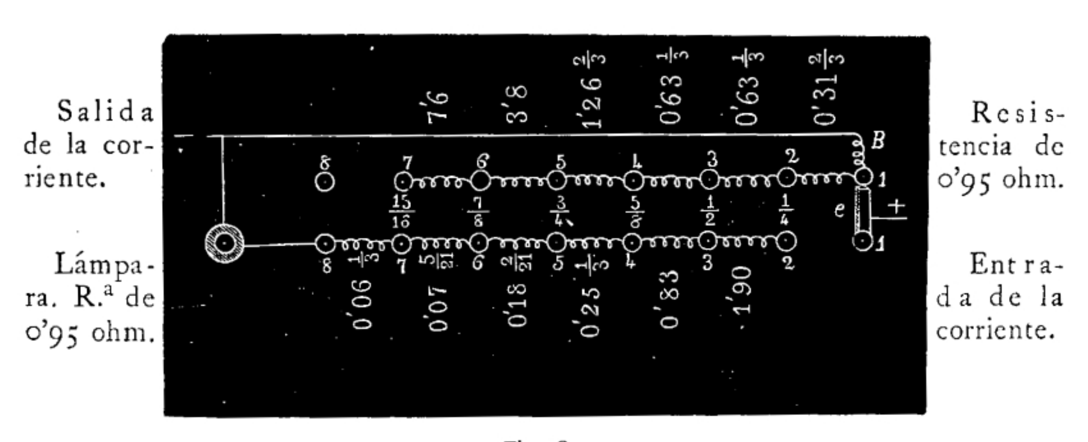


Fig. 80.

pone de manifiesto la manera de actuar el aparato regulador-divisor.

Supongamos que la lámpara tiene una resistencia de o'95 ohms, y que en *B* se intercale una resistencia igual. Colocada la pieza metálica *e* sobre el primer par (1-1) de botones, toda la corriente pasa por *B* sin que parte alguna vaya á la lámpara, que por tanto está apagada: si se coloca sobre el par (8-8), toda la corriente se dirige á la lámpara, y en ambos casos la resistencia es la misma. Pero si *e* se detiene sobre el par (2-2), la corriente se divide, $\frac{1}{4}$ va á la lámpara y $\frac{3}{4}$ á la derivacion *B*;

la resistencia es $0'31\frac{2}{3} + 0'95 = 1'26\frac{2}{3}$ ohms por *B*, y $1'9 + 0'38 + 0'25\frac{1}{3} + 0'18\frac{2}{21} + 0'07\frac{5}{21} + 0'06\frac{1}{3} + 0'95 = 3'8$ ohms, por la lámpara; y la del circuito combinado será $\frac{1'26\frac{2}{3} \times 3'8}{1'26\frac{2}{3} + 3'8} = 0'95$ ohms, la misma que en los dos primeros casos.

Haciendo un cálculo análogo para otra posicion de la pieza metálica, veriamos que cualquiera que sea la parte de corriente que pase por la lámpara, la resistencia del circuito es constantemente de 0'95 ohms.

La proporcion de corriente necesaria para el mejor efecto del alumbrado se ha determinado por ensayos. Con $\frac{1}{4}$ de corriente (pieza metálica sobre los botones [2-2]), el carbon se pone rojo oscuro; con $\frac{1}{2}$ de corriente (botones [3-3]), rojo claro; con $\frac{5}{8}$ (en [4-4]), blanco; con $\frac{3}{4}$ (en [5-5]), se consigue ya luz clara, que sigue aumentando hasta que toda la corriente pasa por la lámpara y ésta llega al máximum de intensidad.

Vemos que la mayor parte de luz es producto de una pequeña fraccion de la corriente (de $\frac{5}{8}$ á $\frac{3}{4}$) y que un corto aumento de ésta acrecienta aquélla enormemente. Una corriente que baste para producir en una lámpara una luz de 100 bujías, dividida entre dos aparatos no da para cada uno más de 10 bujías; pero si se duplica la corriente, cada lámpara dará 100 bujías.

Llegando en una ó várias lámparas al punto de débil candencia, una ligera adicion de corriente proporcionará la luz necesaria: tanto más, cuanto que el poder de iluminacion

crece más rápidamente que la temperatura de la que depende, pues un carbon á 3315° C. da una luz de tres bujías, á 6630 emite la de nueve, y á 13260, la de ochenta y una.

Para utilizar esta lámpara en el alumbrado público y privado, propone el inventor que los alambres conductores del flúido se lleven en las poblaciones por los actuales tubos de gas, y que cada lámpara tenga su conmutador-regulador colocado en el muro ó candelabro, y un mecanismo (invencion tambien de Sawyer) que registre el tiempo durante el cual esté encendida.

No pueden darse todavía cifras seguras acerca del coste de este sistema. Se dice que con un caballo vapor de fuerza se obtiene la misma luz que con 4000 litros de gas por hora. El coste del vapor, en grande, no pasa en Norte-América de 0'05 de peseta por hora y caballo: el de 4 metros cúbicos de gas es 2'15 pesetas en New-York. Con estos datos el alumbrado Sawyer sería cuarenta veces más barato que el gas; pero el inventor concede que su luz se produzca á un precio diez veces mayor que el que fija la teoría, y áun así saldria cuatro veces más barata que el gas.

El sistema Jablochkoff, por candencia de trozos de kaolin, da tambien muchas luces de diferente intensidad con una sola máquina generadora, sin más que introducir el alambre interior de una serie de bobinas de induccion de Ruhmkorff en el circuito de una máquina magneto-eléctrica, y dirigir la corriente inducida, como explicamos á su tiempo, sobre un trozo de kaolin dispuesto entre las extremidades del alambre exterior de cada bobina.

Como puede colocarse un gran número de éstas en el circuito, es fácil conseguir focos que alumbren separadamente, llegándose así á la division completa de la luz

eléctrica. Segun experimentos llevados á cabo por el inventor, pueden obtenerse simultáneamente 50 focos luminosos de diferente intensidad. Se han empleado en los ensayos practicados bobinas de diversas magnitudes, correspondiendo á su tamaño la intensidad de la luz, cuya fuerza luminosa se ha hecho variar entre los límites de dos y quince mecheros Carcel.

Empleando corrientes alternantes, pueden suprimirse el interruptor y condensador de las bobinas y establecer un sistema de distribucion análogo al del gas del alumbrado, reducido á una artéria central, formada por los alambres interiores de las bobinas, y á tantos circuitos parciales como bobinas haya, correspondientes á los alambres inducidos de éstas y terminando en los focos luminosos. Cada luz puede encenderse ó apagarse separadamente, y para pequeños locales los aparatos se reducen á una pinza que sujeta un trozo de porcelana, que con una longitud de un centímetro dura toda la noche.

Aplícanse tambien á esta clase de luces, y con igual objeto, los condensadores que describimos al hablar de las bujías del mismo inventor.

Segun M. Denayrouse, con los sistemas de Jablochkoff se consigue: 1.°, la divisibilidad completa de la luz eléctrica; 2.°, su fijeza absoluta; 3.°, su distribucion en todas proporciones y en todos los puntos de un local en focos grandes, medianos y pequeños; 4.°, la supresion de los carbones para luces no muy intensas.

Al tratar de las lámparas por candencia, mencionamos la de M. Changy: aunque no se ha llegado á saber cómo procedia, parece que consiguió obtener luces pequeñas, á lo ménos en experimentos de laboratorio, hechos muchos de

ellos con lámparas metidas en tubos de vidrio hermética-mente cerrados, y destinadas á las minas abundantes en gases explosivos.

A resolver el problema objeto de este capítulo dedica tambien Alva-Edison su lámpara ya descrita, y para conseguir la division de la corriente parte de los principios conocidos, interponiendo en el circuito, para el caso de variar la intensidad de los focos luminosos, reóstatos de resistencia igual á la que la corriente experimentaba para originar la candencia, pues de este modo en el resto del circuito no hay alteracion, y pueden arder otras luces sin inconveniente.

No permite la novedad del invento presentar datos seguros del coste de produccion de la luz en estas condiciones; pero, segun afirma su autor, será notablemente más barato que el del gas.

CAPÍTULO VII.

LUZ ELÉCTRICA EN LOS SUBTERRÁNEOS.

Alumbrado eléctrico en las minas, especialmente en las de hulla.—Empleo de las lámparas de Serrin en la perforacion de los túneles del Guadarrama.—Casos en que debe hacerse uso de las bujías de Jablochkoff.—Aplicacion de la luz eléctrica en pequeños focos á las labores subterráneas.—Produccion y distribucion de la corriente eléctrica.—Aparatos que pueden emplearse.—Alumbrado individual.—Nueva lámpara eléctrica de candencia.—Alumbrado de almacenes, talleres y establecimientos metalúrgicos.

Si para el alumbrado en general la luz eléctrica reune ventajas que en los precedentes capítulos hemos hecho resaltar, éstas suben de punto si se trata de iluminar grandes tajos de labor á cielo abierto, ó excavaciones subterráneas de difícil ventilacion, y más aún si en éstas hay mezclas gaseosas inflamables.

En el primer caso, un foco intenso convenientemente colocado, cuyos rayos iluminen la zona precisa por medio de reflectores, proporcionará una luz infinitamente más clara y fija que la de numerosas hogueras ó antorchas; en el segundo, como suprime casi por completo, áun empleando la luz al descubierto, una de las principales causas de alteracion de la atmósfera en los minados, facilita la

ventilacion, reduciéndola á suministrar el aire puro estrictamente necesario para la respiracion de los obreros; y al par que favorece la vigilancia, hace más cómodo el trabajo de éstos, no sólo por la mayor claridad de que disfrutan, sino porque la temperatura no se eleva tanto con la luz eléctrica como con las numerosas lámparas hoy indispensables.

En el caso de las minas de hulla ó de cualquiera otra sustancia donde sea posible el desprendimiento de gases inflamables ó detonantes, como la luz puede producirse, ya fuera del contacto de la atmósfera de los subterráneos, ya dentro de vasos ó tubos herméticamente cerrados, se aleja en absoluto todo riesgo de incendio ó explosion.

Como ejemplo de aplicacion á los dos primeros casos, y prueba de su excelencia en todos conceptos, podemos citar un hecho consignado en el informe del ingeniero frances M. Brüll, acerca del empleo de lámparas de Serrin en algunas obras del ferro-carril del Norte de España.

La Compañía constructora, despues de ensayos satisfactorios, adquirió várias de aquellas lámparas con las pilas, reflectores y material indispensables; y sostuvo el alumbrado eléctrico desde Mayo á Octubre de 1862, y de Febrero á Junio del 63, durante 9477 horas; la luz era clarísima é iluminaba los tajos con profusion, sin producir humo ni fatigar la vista, y con un gasto por hora de 2'90 pesetas por lámpara, que viene á ser un 60 por 100 de economía respecto al costo de las antorchas. No ménos importantes fueron los servicios que el alumbrado eléctrico prestó en los trabajos de perforacion de los túneles del Guadarrama: las lámparas ordinarias no ardian en el interior de las excavaciones, y la respiracion era imposible; se instalaron lámparas de Serrin, y

pudo continuarse el trabajo durante 112 horas consecutivas, pues ademas de tener luz, los obreros respiraban con todo desahogo.

Una objecion que se presenta al alumbrado eléctrico para su empleo en las minas es que exige pilas ó máquinas magneto-eléctricas, suponiéndose que el gasto de metales y de ácidos en aquéllas y de motor en éstas puede hacerle más caro que el ordinario.

A esto contestamos que las pilas sólo deben usarse en aparatos portátiles, ó en muy contados casos cuando razones de seguridad exijan esta clase de luz en minas de corto laboreo; que en explotaciones de alguna importancia, la fuerza necesaria para mover las máquinas productoras de la electricidad no será sino una pequeñísima fraccion de la sobrante de otros servicios; y que en las de hulla, áun en el caso poco probable de no haber motor alguno para extraccion, desagüe ó ventilacion, el sostenimiento de uno especial de vapor para el alumbrado sería sumamente económico, teniendo en condiciones excepcionales de baratura el primer elemento del coste, el carbon.

Precisamente para estos casos es para los que hemos dicho que el alumbrado eléctrico supera en baratura á todos los demas. Pero aunque así no fuese, la comodidad en el trabajo, aumentando su efecto útil, compensaria el pequeño exceso de coste que pudiera resultar; y sobre todo, tratándose de la vida y salud de los operarios, las consideraciones económicas deben ceder ante las de humanidad. De aquí que en las minas de hornaguera donde haya ó puedan producirse hidrógenos carbonados en proporciones alarmantes, no deba usarse otra luz que la eléctrica, en aparatos bien cerrados; é impuesta esta obligacion por los Gobier-

nos, los Ingenieros deberian exigir su estricta observancia.

Ahora bien: conocidos ya los sistemas y aparatos de alumbrado eléctrico, veamos cuándo y cuáles deben aplicarse á las minas.

Los focos intensos, como los proporciona el arco voltaico, darán excelentes resultados (y prueba de ello es el ejemplo citado) en labores á cielo abierto, de canteras, salinas, turbales, grandes masas metalíferas, etc., cuando por exigencias del mercado, excesivo calor ó motivos de seguridad, convenga sostener trabajos de noche, prefiriéndose el sistema de Jablochkoff, aunque sea algo más caro que el de reguladores, porque no tiene la fragilidad de órganos que éstos y puede usarse en todas posiciones. La luz debe estar á descubierto, á lo que se acostumbran pronto los operarios, y provista de reflectores para dirigirla á la zona donde haga falta.

En las labores subterráneas, cuando la ventilacion sea difícil, es ya de recomendar el uso de la luz eléctrica, pero en el caso en que haya gases inflamables, y con ellos peligro de explosion, sea fácil ó difícil la ventilacion, y grande ó pequeño el desarrollo de labores, el alumbrado eléctrico en aparatos cerrados debe emplearse, como repetidamente hemos dicho, con exclusion de cualquier otro sistema.

Ademas, en las galerías principales y socavones de trasporte de todas las minas en que la extraccion es grande y contínua, en los sitios donde están colocadas las máquinas, y en las bajadas de las bombas, cortaduras de los pozos, cuartos de herramientas, etc., es conveniente la instalacion de luces eléctricas fijas; pues si actualmente no se hace uso de un alumbrado contínuo, es por lo mucho que subiria el sostenimiento de las numerosas lámparas que por la

corta fuerza de iluminacion de cada una habria que tener encendidas, razon que no existe con el nuevo sistema de alumbrado, más intenso y económico, y que á más puede limitarse, como el antiguo, á los puntos precisos, sin que el apagar una lámpara ó encender otra nueva influya en la marcha de las demas, ni exija maniobras complicadas.

Máquinas de Gramme ó de Siemens, puestas en accion por una parte mínima de la fuerza motriz disponible en la mina, producirán la electricidad necesaria, que puede llevarse hasta 1000 y más metros de distancia por medio de gruesos alambres conductores revestidos de goma elástica, dirigidos por los hastiales de las excavaciones, sostenidos y separados de ellos por aisladores de loza, y si es preciso, encerrados en tubos de madera ó metal para resguardarlos de la humedad: alambres más delgados empalmados en el circuito principal, provistos de reóstatos ó aparatos reguladores de corriente, servirán para la alimentacion de las lámparas, que podrán establecerse de igual manera en donde hayan de lucir constantemente, que en donde sólo sirvan un tiempo limitado para iluminar los sitios de labor.

Entre todas las lámparas que pudieran usarse en las minas merece la preferencia, á nuestro juicio, la de Sawyer, dada su sencillez, poco volúmen, cómoda forma, posibilidad de aumentar ó disminuir, encender ó apagar la luz sin más que volver una llave, y contando tambien con la facilidad de moverla de un lado á otro cuanto permitan sus alambres: tambien son aceptables para las minas las luces de Regnier y Werdermann.

Mas como no tendria objeto mantener iluminacion fija fuera de las vías de constante paso, es necesario proveer al minero de un medio de alumbrarse cuando anda por la

mina, y para este caso, siguiendo siempre el mismo sistema, habrá que apelar á las lámparas eléctricas portátiles de Dumas y Benoit, ó de Gervais, cuya luz, aunque débil, es suficiente para el servicio que se pide.

Mejor resultado que estos aparatos produciria uno de candencia, cuyo proyecto se representa en las figuras 81, 82 y 83, con la disposicion siguiente: una caja de ebonita de dos compartimientos, perfectamente cerrada y de capacidad de

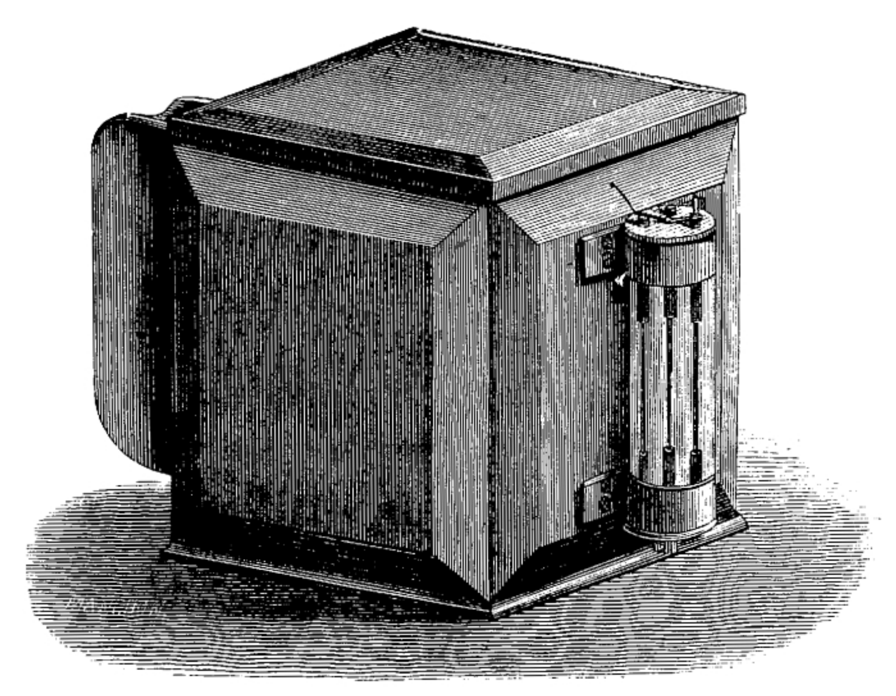


Fig. 81.

un decímetro cúbico, lleva dentro y en el compartimiento inferior cuatro elementos de Trouvé de forma cúbica y de cinco centímetros de lado, cuyos polos pueden ponerse en comunicacion, en el compartimiento superior, con una bobina de Ruhmkorff de seccion trasversal elíptica, para que con un decímetro cuadrado de planta sólo tenga cinco centímetros de altura.

Los alambres exteriores de la bobina salen de la caja para llevar las corrientes de induccion á una barrita de

carbon de pino colocada entre dos cilindros más gruesos de carbon de retorta, y todo dentro de un vaso de vidrio sujeto á la caja y lleno de un gas no comburente, como el nitrógeno ó el ácido carbónico; este vaso puede sustituirse con un tubo metálico cerrado en parte con una hoja de mica perfectamente sujeta, y á traves de la cual pase la luz, sirviendo el resto de reflector.

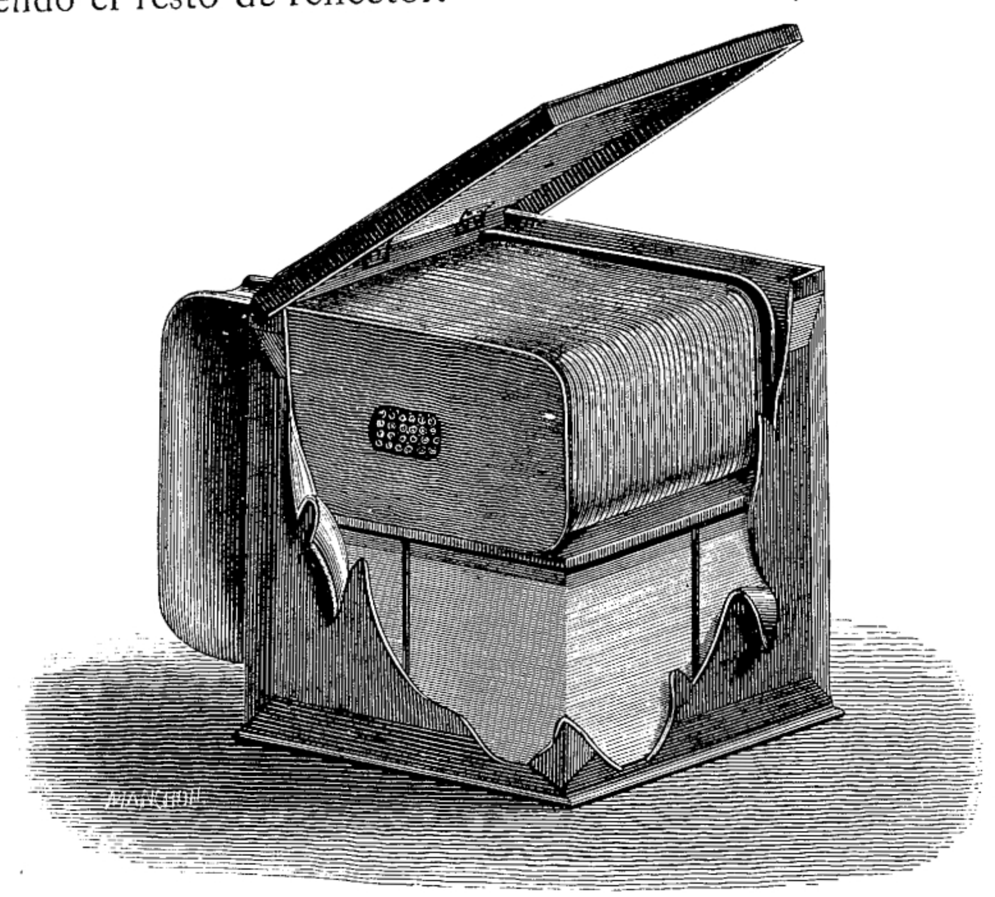


Fig. 82.

Haciendo funcionar la pila y estableciendo la comunicacion entre los conductores de la bobina y los carbones gruesos, la barrita intermedia se pone candente y arroja una luz suficientemente intensa para servir de iluminacion donde se desee.

A fin de que la lámpara siga luciendo, cuando se inutilice la primera barra de carbon por las variaciones casi contínuas en las corrientes que la atraviesan y ponen candente,

basta colocar dentro del tubo de cristal tres carbones independientes, á los que se trasmita la electricidad por medio de un conmutador de mano, disponiendo el conjunto del siguiente modo:

El tubo de cristal representado en córte en la fig. 83 se une á la caja, como se ve en la fig. 81, por medio de dos collares metálicos; siendo el superior de tuerca interior, y el inferior, cerrado á llave por el fondo, lleva tres soportes huecos para alojar los carbones que por encima se sostienen con unos tubos metálicos encajados en una chapa de ebonita, que aislándolos entre sí, se coloca dentro del collar metálico y encima del tubo de cristal.

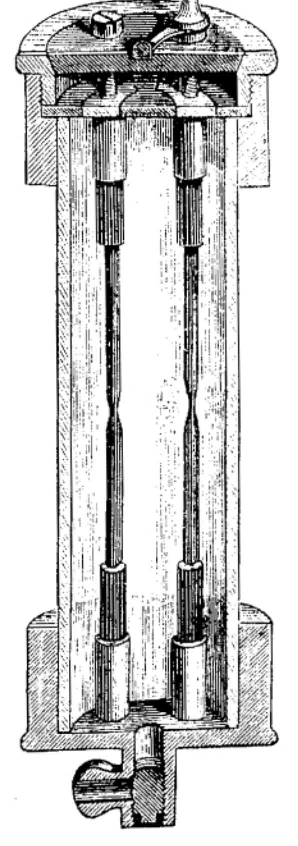


Fig. 83.

Para cerrar éste bastará una tapa tambien de ebonita, cruzada por tres tornillos destinados á establecer independientemente el circuito con auxilio del conmutador, y la tapa se atornilla en el collar superior mediante un cerco metálico, segun se indica en la figura.

Recordando lo que dijimos al hablar de las lámparas de Werdermann, en su aplicacion á la division de la luz eléctrica, habrá que admitir que la corriente obtenida con los cuatro elementos de Trouvé y la bobina de Ruhmkorff ha de ser suficiente para dar la luz apetecida.

El aparato, que en su forma general se asemejaria á una linterna, tendria una altura total de unos quince centímetros y un decímetro cuadrado de base, y con ayuda de un asa se podria trasportar sin el menor obstáculo dentro de las minas

con una luz mucho más fuerte que la de los tubos de Geissler, siendo de útil y económica aplicacion, no sólo al caso de que tratamos, sino al más importante de excavaciones llenas de gases detonantes ó de difícil ventilacion en las que, por estar los trabajos en su comienzo ó por tener poca importancia, no se disponga de ventiladores ni de fuerza motriz, ó tambien porque su forma y situacion no permitan llevar el flúido eléctrico desde el exterior por medio de largos conductores.

Digamos, para concluir, que el alumbrado eléctrico debe establecerse en las oficinas de beneficio, talleres de preparacion mecánica, almacenes y demas dependencias industriales de toda mina que por su importancia lo justifique, pudiendo echarse mano de todos los sistemas, y preferentemente de los de Jablochkoff, Werdermann ó Sawyer, segun la extension que se trate de iluminar.

CONCLUSION.



CONCLUSION.

ALUMBRADO MINERO.

Recapitulacion.—Alumbrado en las minas metalíferas y en las de carbon, cuando los filones ó capas tienen poco espesor. — Iluminacion en el caso de haber grandes frentes de labor.—Lámparas de seguridad perfeccionadas. — Sistemas y aparatos para la luz eléctrica. — Aplicacion á las minas de España de todos los principios establecidos.

Terminado el estudio de los métodos que hoy se emplean en el alumbrado minero, expuestos los inconvenientes y ventajas de todos y cada uno de los aparatos descritos, habiendo señalado la manera de corregir los primeros y aprovechar las segundas, y presentada ademas una solucion general que es cumplida satisfaccion del problema, sólo nos resta para llenar el tema objeto de esta Memoria condensar en breves frases cuanto se ha dicho, y establecer los medios que, unas veces en sustitucion de los actuales, y otras en combinacion con éstos, deberán usarse en las labores subterráneas, principalmente en las minas expuestas á emanaciones de gases inflamables.

Desde las primeras páginas de nuestro libro hemos establecido una division de los criaderos, segun la cual el alumbrado minero, para ocurrir á todas las necesidades á que se

destina, debe ser fijo y general en unos casos, movible é individual en otros; capaz de arder sin precaucion alguna dentro de la atmósfera de los subterráneos, ó sujeto á condiciones especiales para evitar el contacto de la luz con los gases que se encuentran en el aire de los minados.

Ahora bien, si tratamos de alumbrar una mina metalífera en que rarísima vez se presentan gases inflamables ó irrespirables (*), y cuyo criadero esté constituido por un filon no muy potente, el uso del candil para cada uno de los mineros será preferible, pudiendo emplearse, segun los casos ó hábitos de la localidad, los de tipo español, los de estribo, los dispuestos para colocarse en el sombrero, estén alimentados con aceite ó petróleo, los oscilantes ingleses, ó las linternas de diversas formas que quedan descritas.

A todos estos aparatos pudiera muy bien sustituir, cuando no es imprescindible llevar la llama encerrada, un candil semejante á las *raves* francesas, pero con mecha plana y tejida en vez de la torcida ordinaria, pues reuniria á las ventajas que por sí tiene, la de proporcionar mejor luz con el mismo gasto de combustible y sin necesidad de atizarle con frecuencia.

En los casos en que hay que proteger la luz del viento ó

(*) Ambos casos existen, pero sobre todo las emanaciones de ácido carbónico que ya hemos citado, sin salir de España, para algunos minados del Campo de Calatrava. El mismo fenómeno se presenta en una mina de mercurio, sita entre las pizarras de transicion, en el término de Pitres, en la provincia de Granada, donde en 1876 el ácido carbónico salia formando burbujas, que estallaban en el agua del fondo de las excavaciones, con tal abundancia, que llegó á ocasionar algunas asfixias. Ademas, sucede con bastante frecuencia en las minas del barranco Jaroso, en Sierra Almagrera, provincia de Almería, que al romper un soplado ó cavidad natural de la roca, el gas ácido carbónico allí depositado y comprimido naturalmente sale con tal violencia, que apaga los candiles é infesta repentinamente las labores, teniendo necesidad de abandonarlas hasta que se ventila y purifica la atmósfera de la mina.

del agua, serian de muy útil empleo las linternas inglesas con reflector posterior, que dejamos descritas.

Si se han de usar aparatos fijos, los faroles ingleses ó norte-americanos nos parecen excelentes, y si el viento sopla con fuerza en donde se haya de colocar la luz, nada mejor que la *wind-lamp*.

En las minas de carbon ó de sal en capas delgadas, y donde no se desprenden gases inflamables, el alumbrado puede ser el mismo que para los criaderos metalíferos de que acabamos de hablar; pero áun cuando las capas combustibles ó salinas sean de escaso espesor, si hay emanaciones de gases inflamables será indispensable emplear lámparas de seguridad, ya fundadas en el descubrimiento de Davy, ya de las que herméticamente cerradas cubren un foco eléctrico.

Cuando se trate de minas metalíferas abiertas en potentes filones, ó de carbon para beneficiar gruesas capas, como se llevarán grandes frentes al descubierto, la luz eléctrica deberá ser preferida á cualquier otro alumbrado, combinando los focos fijos con las lámparas portátiles, segun hemos indicado oportunamente; y semejante sistema, no sólo será conveniente, sino indispensable en aquellos criaderos, sobre todo en los de combustible fósil, donde se desprendan gases nocivos.

Siempre que se necesite una lámpara de seguridad, deberá usarse la de Simons con las modificaciones siguientes: entrada del aire por la base del aparato y á traves de telas metálicas verticales, para evitar que se entrapen con tanta facilidad como en la lámpara de Combes; empleo de aceite mineral como combustible, á semejanza de las de Teale y Souheur; sustitucion del cristal por la mica, como en el aparato de Tappan, y por fin, apagador automático como el

sistema *Protector*, todo combinado con un cierre especial, ya sea el tornillo de Aillot, ya el cerrojo magneto-eléctrico, pues así se obtendrá una lámpara superior á todas las conocidas. Si fuera imposible obtener el aparato indicado, el que mejor podrá sustituirle es la lámpara de Tappan con apagador *Protector*.

Al hacer uso del alumbrado eléctrico con aparatos movibles, la lámpara de Sawyer presenta ventajosísimas condiciones, si bien podrán utilizarse en muchos casos otras lámparas de las descritas, especialmente las del sistema de Werdermann, y si es indispensable alumbrado eléctrico individual y portátil, deberá echarse mano del aparato de candencia que hemos propuesto.

Por fin, si se trata de iluminar labores á cielo abierto, túneles y galerías de gran seccion, extensos talleres, espaciosas fábricas ó grandes almacenes, la bujía de Jablochkoff tiene adecuada y natural aplicacion.

Concretando la cuestion, como lo exige el tema, á las minas de España, dirémos que, dados los sistemas de explotacion en uso, el poco desarrollo de las labores en la mayoría de las minas, la falta de inteligencia con que casi siempre se hacen las excavaciones, y la exigua importancia de muchas empresas mineras, pueden llenarse las más perentorias necesidades con el candil ordinario en la mayoría de los casos, y con las lámparas de seguridad, si hay gases inflamables.

Mas como está fuera de duda que en un plazo no remoto la minería española ha de alcanzar el grado de actividad y desarrollo que la riqueza, importancia y número de los criaderos exigen, claro es que entónces tendrán perfecta aplicacion é incuestionable utilidad todos los sistemas y aparatos eléctricos que en general hemos aconsejado.

Aun en ciertas explotaciones, como las de plomo de Linares y Sierra Almagrera, y las de carbon de Palencia, Astúrias y Córdoba, donde se dispone de máquinas poderosas para el desagüe ó extraccion, el empleo del alumbrado eléctrico tendria, entre tantas otras ventajas como dejamos apuntadas, la de una economía extraordinaria, pues que se obtendria sin más que distraer de la fuerza mecánica disponible dos ó tres caballos. Tambien el uso de la luz eléctrica sería de suma utilidad en las grandes explotaciones á cielo abierto de Vizcaya y Huelva, si fuera preciso trabajar de noche.

En resúmen, sólo haciendo uso de la luz eléctrica es como puede considerarse completamente resuelto el problema del alumbrado de las minas, y si álguien duda de ello, es porque no se detiene á meditar los prodigios que consigue la industria moderna aplicando los descubrimientos que la ciencia realiza diariamente. En cuanto á nosotros, fanáticos partidarios del progreso, tenemos la fe que anima y convence cuando en la razon se apoya, y á pesar de cuantos contratiempos se presenten y de cuantos obstáculos haya que vencer, no desmayarémos en la empresa, llevando por divisa el *¡Go ahead!* que sirve al intrépido explorador norte-americano para dar cima á las dificultades más grandes,

Et lux lucernæ non lucebit in te amplius.
APOC., C. XVIII, ℣. 23.

FIN.



APÉNDICES.



APÉNDICES.

I.

PROGRESOS DE LA LUZ ELÉCTRICA.

Tanto se va extendiendo el uso de la luz eléctrica, que hasta sus contrarios se ven obligados á confesar que, como alumbrado público, llegará un dia á reemplazar á los demas sistemas; hoy mismo las Compañías de gas necesitan imponerse notables sacrificios, rebajando precios, aumentando el gasto de sus luces y perfeccionando los aparatos, para luchar con un procedimiento como el de Jablochkoff, de condiciones no muy ventajosas para la iluminacion de calles, por lo poco que se presta á la division de la luz.

Por lo que al asunto de nuestra Memoria toca, debe notarse que la atencion se empieza á fijar preferentemente en las lámparas esencialmente de candencia, cual las de Sawyer-Man y Edison, ó en las mixtas de Werdermann y Reynier, pues sólo con ellas se consiguen pequeños focos, viniéndose á confirmar lo dicho en nuestro libro, al considerar aquellos aparatos como la solucion de la parte más interesante del problema del alumbrado minero; y si al presentar nuestro trabajo manifestamos que á inventos tan recientes les faltaba la sancion de la práctica, hoy, á juzgar por los resultados obtenidos, el buen resultado parece indudable, y cada

vez es más firme nuestra conviccion de las ventajas que han de conseguirse en las minas con el empleo del alumbrado eléctrico de candencia.

II.

PILA TERMO-ELÉCTRICA.

La potente y económica pila termo-eléctrica de Clamond suministra el medio de producir una corriente de gran intensidad, sin necesidad de máquina motriz ni de ácidos, circunstancias que pudieran en algun caso ser preferentes para las minas.

Se compone la pila de un colector de calórico hecho con piezas de fundicion formando cavidades á traves de las que circula el aire caliente; de un difusor, parte exterior del aparato, constituido por láminas metálicas de gran superficie, y de un sistema de pares termo-eléctricos colocados entre el colector y el difusor.

Con una de estas pilas de un metro de diámetro y 20 metros cuadrados de superficie de caldeo han podido marchar dos lámparas de Serrin de 30 á 50 mecheros Carcel cada una; la resistencia fué de 31 ohms, y la fuerza electro-motriz de 218 volts, equivalente á la de 121 pares de Bunsen, consumiéndose tan sólo 9 kilógramos de hornaguera cada hora.

III.

LÁMPARAS ELÉCTRICAS.

No estando en nuestro ánimo proponer el empleo de lámparas de regulador en las minas, por lo delicado de los aparatos, nos hemos limitado á indicar su disposicion en general; mas habiendo descrito y acompañado figuras de los tipos principales de los demas

sistemas de lámparas eléctricas, creemos conveniente, para que nuestros lectores puedan formarse idea completa del nuevo alumbrado, entrar en algunos detalles respecto á la lámpara de Serrin, la más usada y perfecta de las de esta clase.

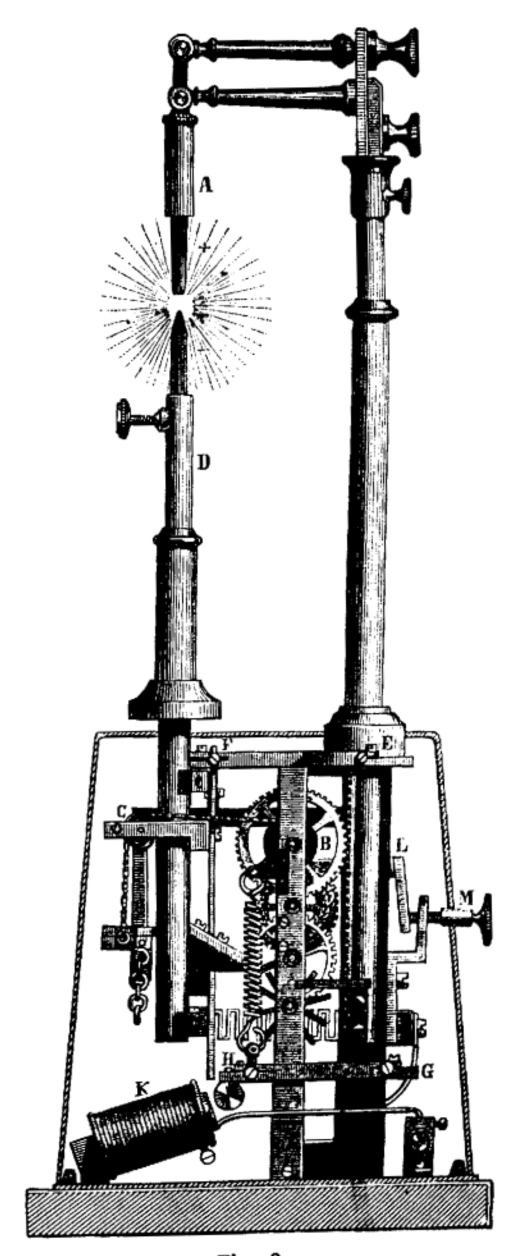


Fig. 84.

En ella (Fig. 84) el porta-carbon positivo A tiende á descender verticalmente por su propio peso deslizándose por un tubo, y al bajar pone en movimiento, por medio de la cremallera en que termina, un juego de ruedas de engranaje, que regularizan el descenso, y una polea B sujeta al árbol de la primera rueda y de un diámetro mitad menor que el de ésta; á la polea va arrollada una cadena á la Vaucanson, que pasando por una roldana C, viene á engancharse en una pieza unida al porta-carbon inferior y negativo D, el cual, por consiguiente, sube tan sólo la mitad de lo que baja el positivo.

Al tubo en que se desliza el porta-carbon superior va enlazado un doble paralelógramo articulado E F H G, oscilante alrededor de los ejes E y G, que en la extremidad inferior de sus lados verticales lleva una armadura cilíndrica de hierro dulce, que atraida por un electro iman K, le obliga á bajar más ó ménos segun la intensidad de la corriente; dos resortes, representados en I, fijos por un lado á los soportes de las ruedas y por otro á los brazos

inferiores del paralelógramo, hacen que éste suba cuando la corriente disminuye ó cesa.

Al porta-carbon inferior va ajustado un tope en forma de escuadra L, que detiene el movimiento de las ruedas, sujetando las aspas de un molinete enlazado á ellas, cuando la corriente es bastante intensa para que el electro-iman arrastre hácia sí la armadura cilíndrica; si la accion del electro-iman no puede contrarestar la de los resortes, el paralelógramo asciende, el molinete y ruedas quedan libres, el porta-carbon positivo baja, y por los intermèdios que hemos dicho, hace subir al negativo. Por medio de un tornillo M y una palanca que manda otro resorte se aumenta ó disminuye la sensibilidad del aparato, y una cadenita colgante sirve para compensar la pérdida de peso del carbon negativo.

La corriente, que entra por un boton á que está sujeto el alambre positivo de la máquina productora de electricidad, llega al carbon superior por el electro-iman y el montante del aparato, pasa al inferior por el intermedio del arco voltaico, y por la lámina flexible Z va á otro boton á que está atado el conductor negativo de la máquina.

El carbon positivo va dentro de un tubo, al que, por medio de dos brazos articulados y una excéntrica, se le pueden dar dos movimientos en ángulo recto para que los carbones queden en la posicion más conveniente.

Con intencion, tambien, de completar nuestro trabajo respecto al alumbrado eléctrico, dirémos que á más de las lámparas descritas merecen mencionarse las de Wilde y Jamin, de bujías sin sustancia aisladora entre los carbones paralelos; la de Munro, de candencia de un alambre de platino en zig-zag, con regulador automático de la corriente; la de Clamond, parecida á la de Reynier; la de Ducretet, semejante á la de Werdermann, salvo que el carbon positivo asciende impulsado por una columna de azogue en que está sumergido, y otras várias, todas análogas en la esencia.

IV.

MÁQUINA DE BRAUNSDORF.

Hace pocos meses que se ha dado á conocer en los Estados-Unidos una nueva máquina magneto-eléctrica, ideada por Mr. J. F.

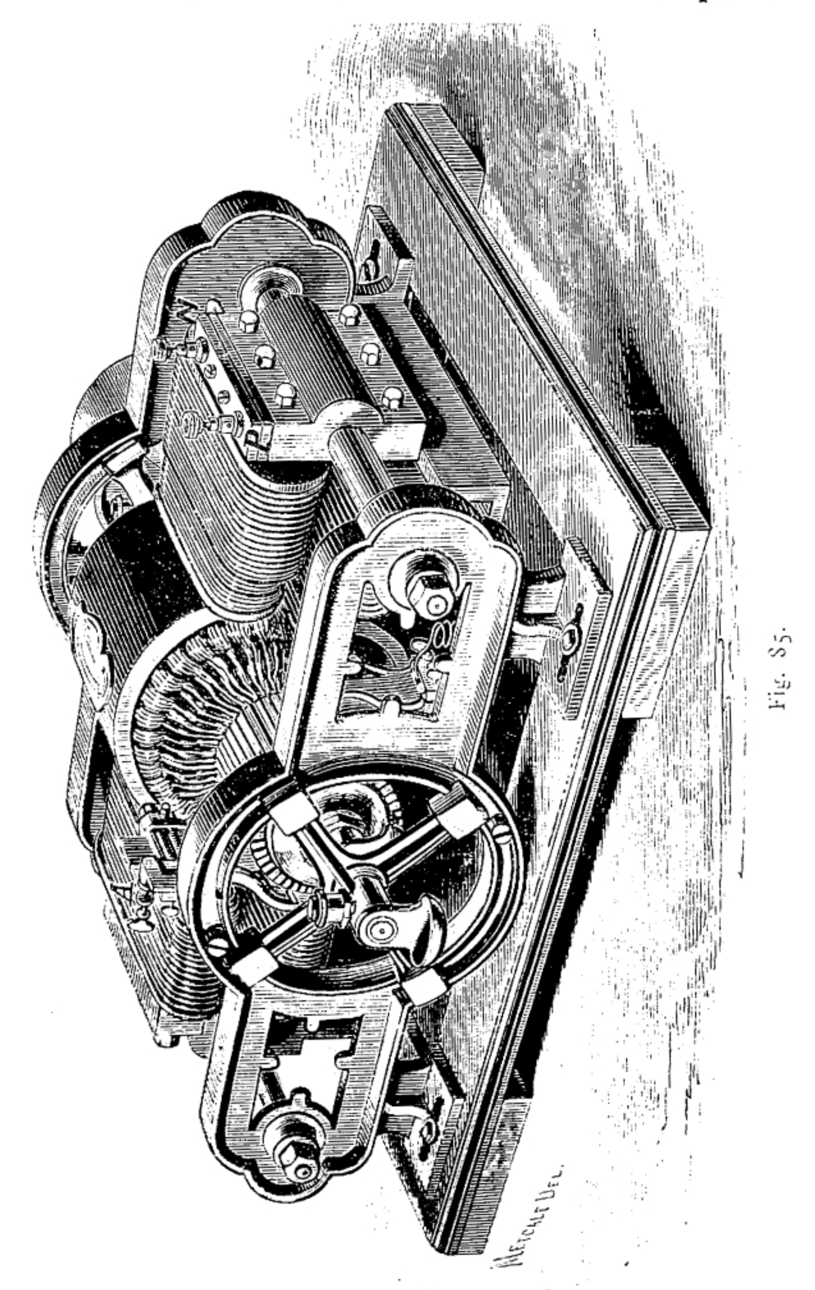


Fig. 85.

Braunsdorf, de Pearl-River, Nueva-York, y que representamos en escala de $\frac{1}{10}$ en la figura 85.

Consiste esta máquina, que, á nuestro modo de ver, presenta modificaciones interesantes sobre todas las de su clase, en un par de electro-imanes y una armadura que gira dentro de aquéllos, guarnecida de madejas de alambre de cobre aislado y sostenidas entre dos anillos formados por coronas de palastro galvanizado, concéntricas y separadas en cada una de las dos series que forman por un espacio igual al del espesor de cada roldana ó corona, y el cual no excede de medio milímetro. Los alambres de las madejas de la armadura varian en longitud y grueso segun el tamaño de la máquina, y están relacionados de modo que el final de una madeja se une con el final de la madeja siguiente, y el principio de la misma con el principio de la madeja anterior; de este modo cada mitad de la armadura está polarizada uniformemente, y por medio de un conmutador metálico pueden tomarse las corrientes y trasportarse al campo magnético de los electro-imanes.

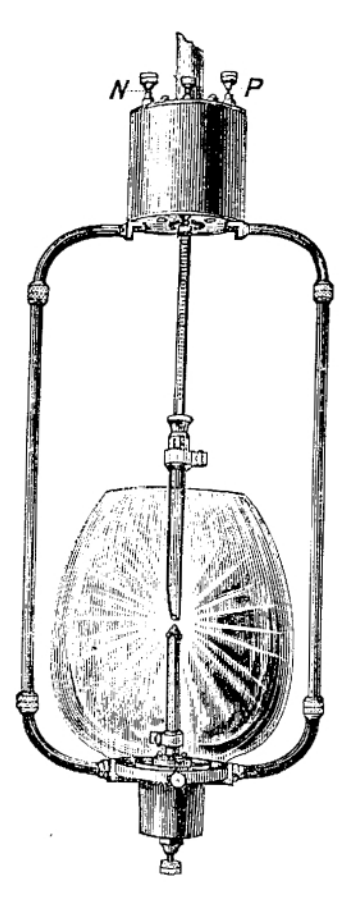


Fig. 86.

Las dos series de aberturas que existen entre las roldanas de la armadura, juntamente con otras radiales que ademas hay, facilitan extraordinariamente el paso del aire, evitando que la máquina se caliente á pesar de la gran velocidad con que gira.

La armadura es muy ancha, teniendo en cuenta el tamaño de la máquina, y muy pequeño el espacio entre el cuerpo giratorio y los electro-imanes, resultando así que con un aparato cuya armadura no excede de cuatro pulgadas de longitud y la fuerza de tres caballos de vapor, que necesita para marchar á la velocidad de 750 vueltas por minuto, se obtiene una intensidad luminosa de 5000 bujías.

El conmutador metálico está formado por chapas elásticas, que

sustituyen á los cepillos generalmente usados, consiguiéndose así, si se inutiliza alguna de ellas, reemplazarla con facilidad sin tocar al resto.

A estas máquinas acompaña una lámpara de regulador automático, que representamos en la figura 86, dispuesta de modo que los dos carbones, el superior positivo y el inferior negativo, tengan constantemente sus puntas á una distancia fija y en relacion con la corriente de la máquina. Las sustancias que se emplean para fabricar los carbones son muy escogidas, y con ellas se forma una masa que se comprime fuertemente en una prensa hidráulica para hacerla cruzar á traves de una hilera que da barras de la longitud que se desea.

El precio de las máquinas varía de 250 á 2500 pesetas; la velocidad de las mismas, de 500 á 1600 vueltas por minuto; la fuerza motriz, de 1 á 5 caballos, y el poder luminoso, de 1500 á 12000 bujías. El gasto de carbon por hora puede fijarse en unos 10 céntimos de peseta.

V.

DIVISION DE LA LUZ ELÉCTRICA; PROCEDIMIENTO MOLERA-CEBRIAN, É IDEA EMITIDA POR D. R. ROIG Y TORRES.

Los ingenieros catalanes Sres. Molera y Cebrian, residentes en San Francisco de California, han propuesto un medio de division de la luz eléctrica, que si bien nos parece de difícil planteamiento en la generalidad de los casos, es ingenioso, y pudiera, modificado ó simplificado, tener aplicacion en las minas de hulla, pues con él sería imposible por completo la inflamacion de los gases detonantes, por resultar muy léjos de ellos el foco luminoso y calorífico.

El procedimiento consiste en subdividir la luz misma por me-

dio de la reflexion, en vez de subdividir las corrientes, y el objeto principal que se proponen conseguir los inventores es evitar la disminucion de intensidad, salvando así una de las dificultades más sérias del problema, aunque, en nuestra opinion, la absorcion de los prismas y tubos y las repetidas reflexiones han de hacer perder á la luz mucha fuerza.

La corriente se origina por cualquiera de los medios conocidos, y se conduce á una lámpara de arco voltaico y regulador que debe estar próxima al generador eléctrico, y cuya luz, concentrada por medio de lentes y reflectores, se manda por una red de tubos, como los de distribucion del gas y del agua, á otras lámparas que la emiten por reflexion; prismas reflectores, cuya longitud puede hacerse variar á voluntad, colocados en la union de los tubos, sirven para hacer pasar la luz de unos á otros y graduar su intensidad, y lentes secundarios la esparcen ó concentran segun y en los puntos que convenga. Los inventores pretenden que con un caballo de vapor de fuerza se pueden producir 195 luces con una intensidad de 1958 bujías. (Memoria leida en la Academia de Ciencias de San Francisco de California en 21 de Abril de 1879.)

Don R. Roig y Torres emite en la Crónica científica de Barcelona una idea muy digna de llamar la atencion: viendo las dificultades que ofrece la division de una poderosa corriente para alimentar muchos focos de corta intensidad, propone se construyan pequeñas máquinas magneto-eléctricas y lámparas en relacion con ellas, dando movimiento á las primeras con aparatos impulsados por aire comprimido llevado á las casas ó puntos necesarios por cañerías á propósito.

Idea es ésta que creemos pudiera algun dia utilizarse en las minas, y que en Madrid podria modificarse empleando en vez del aire compromido el agua del Lozoya, cuya presion no baja de 2 á 2 y media atmósferas por término medio.

VI.

EL ALUMBRADO JABLOCHKOFF EN MADRID.

Como hemos descrito con todo detalle el sistema de Jablochkoff, creemos de interes dar algunas noticias acerca de su empleo y coste en Madrid.

Segun datos que hemos podido adquirir, el gasto que ocasionan las seis luces eléctricas de la Puerta del Sol, durante seis horas cada noche, aparte del interes y amortizacion del capital de instalacion, es el siguiente:

	Pesetas.
Por 18 bujías Jablochkoff, á 0'75 pesetas.	12
Por 5 quintales castellanos (230 kilógramos) de carbon, á 3 pesetas.	15
Por aceite, paños, etc., para las máquinas.	1
Por jornales de un maquinista, un fogonero y un vigilante para el servicio de las luces.	10
Por reposicion de pantallas.	1
Por alumbrado de gas para el local donde están las máquinas, 5 metros cúbicos en 7 horas.	1'55
Total pesetas.	40'55

y por foco y hora 1'13 pesetas.

Este gasto, áun prescindiendo del necesario para alumbrar con gas el local, es muy superior al que resulta en París, y considerablemente mayor que el de Lóndres. Puede explicarlo el que las bujías se ponen á un precio 50 por 100 más alto que el de París, por embalaje, desperfectos, portes, etc., y que el gasto de carbon para la máquina motriz es excesivo, pues durante las siete horas que funciona viene á consumir 12 libras (5'521 kilógramos) de carbon por hora y caballo.

Atendiendo á los precios del gas en Lóndres y Madrid, se comprende que en esta última capital puede obtenerse la luz eléctrica con buenas máquinas y aparatos bien instalados, quizá por la mitad de precio que la de gas, y áun por ménos, si, como es factible, la fuerza necesaria se pidiese á un motor hidráulico ó á una máquina Otto.

VII.

INVENTOS DE EDISON.

Alva Edison ha obtenido en Inglaterra, en Abril último, privilegio por mejoras en su sistema de alumbrado eléctrico que versan principalmente sobre detalles de aplicacion, objeto, segun se asegura, de felices ensayos en Nueva-York, donde piensa instalar un motor de 80 caballos vapor, y 30 máquinas dinamo-eléctricas para alimentar 400 lámparas repartidas en un gran espacio. Anuncia tambien haber encontrado medio de medir la electricidad suministrada á las lámparas. Bueno es consignar, sin embargo, que la opinion de muy autorizadas publicaciones científicas está léjos de ser favorable á un sistema que áun no ha salido del gabinete del inventor. Se le tacha de poco práctico, y la Revista inglesa *Engineer* dice que la máquina electro-dinámica de diapason que Edison presenta, sería, suponiéndola construida, la peor de las conocidas; pues no ha tenido en cuenta el inventor que el diapason tendria que vibrar en un campo magnético, y dando diez y seis vibraciones por segundo; en cuanto á la lámpara, al establecerse el corto circuito, la disminucion y sucesivas interrupciones que sufre la corriente deben producir una contínua oscilacion en el foco luminoso, resintiéndose notablemente la intensidad.

El tiempo se encargará de dar la razon al inventor ó á sus críticos.

Lo mismo puede decirse de otro de sus descubrimientos fundado en que cuando se extraen del platino los gases que suele contener, adquiere el metal una resistencia enorme, y creciendo en gran escala su facultad luminosa, no se rompe áun cuando la temperatura producida por el paso de la corriente eléctrica sea elevadísima: añade Edison que un alambre de hierro en las mismas condiciones llega á emitir más luz que el platino en estado natural; mas para que estas ventajas se logren es preciso que los metales, privados de gases, estén dentro de un globo de vidrio en que se haya hecho el vacío.

Ultimamente, renunciando Edison al empleo del platino y metales análogos, anunció haber resuelto el problema del alumbrado eléctrico con una lámpara, en la que la luz se produce por la candencia de una delgadísima lámina de carbon en forma de herradura (obtenida por la calcinacion de un trozo cartulina ristol), B colocada dentro de un globo de vidrio, privado de aire, para asegurar la casi indefinida duracion de la lámina.

Las primeras noticias llegadas á Europa fueron altamente favorables á la invencion; mas despues se han hecho sérias objeciones por físicos eminentes, y nosotros no podemos admitir la larga duracion que á los carbones supone el inventor, miéntras no indique cómo se evita la desagregacion del cuerpo luminoso por el acceso de la corriente, los arrastres de materia que todos los experimentos confirman, y la accion sobre la ténue herradura, del oxígeno del aire que siempre queda en el vaso por mucho que se prolongue el trabajo de la máquina neumática (*).

Por lo demas, la idea fundamental no es nueva, pues en ella están basadas las lámparas rusas y la de Sawyer-Man.

(*) Véase el artículo publicado en los *Anales de la Construccion y de la Industria*, el 25 de Enero de 1880.

VIII.

PINTURA LUMINOSA.

En la *Gaceta Industrial* del 25 de Febrero del corriente año hemos leido la noticia de que un químico inglés, Mr. Balmain, ha inventado una pintura, cuya composicion se ignora aún, que aplicada á la madera, al hierro, etc., y expuesta á la luz durante el dia, se vuelve luminosa en la oscuridad, hasta el punto de servir como lámpara, aplicable, segun se pretende, entre otros casos, á las minas con gases detonantes.

Nada más sabemos acerca de este invento, que, de confirmarse, vendria á resolver de una manera inopinada el problema objeto de esta Memoria; pero dudamos de la eficacia de la invencion, que nos parece ha de tener muchos puntos de contacto con las sustancias fosforescentes citadas en la página 84 de este libro.

1.º *de Marzo de* 1880.

FIN DE LOS APÉNDICES.

FIGURAS INTERCALADAS EN EL TEXTO.

ÍNDICE.

INTRODUCCION.

PRIMERA PARTE.

SEGUNDA PARTE.

TERCERA PARTE.

Páginas.

CONCLUSION.

APÉNDICES.

FIN DEL ÍNDICE.